



TUGAS AKHIR - TE 145561

**ANALISIS PENGARUH POLA PERUBAHAN BEBAN PADA
SISTEM *SMART GRID* TERHADAP KARAKTERISTIK FISIK DAN
ELEKTRIS MINYAK TRANSFORMATOR**

Novia Andriani
NRP 07111645000068

Dosen Pembimbing
Danar Fahmi S.T., M.T
Dr. Eng. I Made Yulistya Negara S.T., M.Sc

DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO
Fakultas Teknologi Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018



TUGAS AKHIR - TE 145561

**ANALISIS PENGARUH POLA PERUBAHAN BEBAN PADA
SISTEM *SMART GRID* TERHADAP KARAKTERISTIK FISIK DAN
ELEKTRIS MINYAK TRANSFORMATOR**

Novia Andriani
NRP 07111645000068

Dosen Pembimbing
Danar Fahmi S.T., M.T
Dr. Eng. I Made Yulistya Negara S.T., M.Sc

DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO
Fakultas Teknologi Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018



FINAL PROJECT - TE 145561

***ANALYSIS THE EFFECT OF LOAD CHANGE PATTERN ON
SMART GRID SYSTEM TO THE PHYSICAL AND ELECTRICAL
CHARACTERISTIC OF TRANSFORMER OIL***

Novia Andriani
NRP 07111645000068

Advisor
Danar Fahmi S.T., M.T
Dr. Eng. I Made Yulistya Negara S.T., M.Sc

ELECTRICAL ENGINEERING DEPARTEMEN
Faculty of Electrical Technology
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018

-----Halaman ini sengaja dikosongkan-----

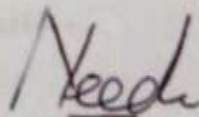
PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi sebagian maupun keseluruhan Tugas Akhir saya dengan judul "**Analisis Pengaruh Pola Perubahan Beban pada Sistem *Smart Grid* terhadap Karakteristik Fisik dan Elektris Minyak Transformator**" adalah benar-benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diijinkan dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka.

Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya, 21 Juni 2018



Novia Andriani
NRP 07111645000068

-----Halaman ini sengaja dikosongkan-----

ANALISIS PENGARUH POLA PERUBAHAN BEBAN PADA
SISTEM *SMART GRID* TERHADAP KARAKTERISTIK FISIK DAN
ELEKTRIS MINYAK TRANSFORMATOR

TUGAS AKHIR

Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik

Pada

Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga
Departemen Teknik Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Menyetujui:

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Daniar Fahmi, S.T., M.T.
NIP. 198909252014041002

Dr. Eng. I Made Yulistya Negara S.T., M.Sc.
NIP. 197007121998021001



-----Halaman ini sengaja dikosongkan-----

ANALISIS PENGARUH POLA PERUBAHAN BEBAN PADA SISTEM *SMART GRID* TERHADAP KARAKTERISTIK FISIK DAN ELEKTRIS MINYAK TRANSFORMATOR

Nama : Novia Andriani
Pembimbing : Daniar Fahmi, S.T., M.T.
Dr. Eng. I Made Yulistya Negara, S.T., M.Sc.

ABSTRAK

Eksistensi *smart grid* dan *charging station* dari *electric vehicle* mempengaruhi pola beban yang terhubung ke transformator. Aliran arus beban pada transformator yang berubah-ubah menyebabkan perubahan temperatur belitan hingga temperatur minyak transformator tersebut.

Pada Tugas akhir dilakukan penelitian untuk mengetahui pengaruh pola perubahan beban terhadap karakteristik fisik dan elektris minyak transformator. Sample minyak dibagi menjadi sample kurva beban harian transformator, sample *photovoltaic* (PV), sample *charging station*, dan sample konstan. Sample tersebut dipanaskan lalu diamati karakteristik fisik (pengamatan visual warna minyak) dan elektrisnya (pengujian *breakdown voltage*). Sample tersebut juga diuji DGA (*Dissolve Gas Analysis*) untuk mengetahui kandungan gas apa saja yang terkandung di dalam minyak transformator.

Hasil karakteristik fisik adalah sample konstan mempunyai kerusakan paling rendah (minyak berwarna kuning). Hasil karakteristik elektris adalah sample konstan mempunyai nilai tegangan tembus paling tinggi daripada sample kurva beban harian transformator, sample PV, dan sample *charging station* dengan nilai berturut – turut 36.108 kV, 8.8 kV, 24.548 kV, dan 28.894 kV. Hasil DGA adalah kandungan gas terlarut rata-rata dalam kategori kondisi 1 yakni minyak berada pada kondisi normal. Berturut-turut sample konstan, sample kurva beban harian transformator, sample PV, dan sample *charging station* mempunyai nilai TDCG yakni 2 ppm, 7 ppm, 3 ppm, dan 31 ppm. Hal ini menunjukkan bahwa pola pemanasan konstan mempunyai nilai TDCG paling rendah dan memberikan hasil terbaik untuk kesehatan minyak transformator.

Kata Kunci :Karakteristik Fisik dan Elektris Minyak Trafo, Pengujian Tegangan Tembus, DGA

-----Halaman ini sengaja dikosongkan-----

**ANALYSIS OF LOAD CHANGE PATTERN ON SMART GRID
SYSTEM TO THE PHYSICAL AND ELECTRICAL
CHARACTERISTIC OF TRANSFORMER OIL**

Name : Novia Andriani
Advisor : Daniar Fahmi, S.T., M.T.
Dr. Eng. I Made Yulistya Negara, S.T., M.Sc.

ABSTRACT

The existence of smart grid and charging station of the electric vehicle affect the load pattern connected to the transformer. The load change pattern connected to the transformer cause a change in winding and oil temperature.

This final project perform research to define the effect of load change pattern to the physical and electrical characteristics of transformer oil. The oil sample is divided into transformer daily load curve sample, photovoltaic (PV) sample, charging station sample, and constant sample. The sample is heated and then examine the physical (oil color visual observation) and the electrical (breakdown voltage test) characteristics. The sample is also tested by DGA (Dissolve Gas Analysis) to observe what gas content in transformer oil.

The result of physical characteristics is constant sample having the lowest damage (the color of oil is yellow). The electrical characteristic result is a constant sample having the highest breakdown voltage value than transformer daily load curve sample, PV sample, and charging station sample with values respectively 36,108 kV, 8.8 kV, 24,548 kV, and 28,894 kV. The DGA result is all oil sample in category 1 that is in normal condition. The TDCG value of constant sample, transformer daily load curve sample, PV sample, and charging station sample respectively is 2 ppm, 7 ppm, 3 ppm, and 31 ppm. It indicate that a constant heating pattern has the lowest TDCG value and provides the best results for transformer oil health.

Keywords: *Physical and Electrical Characterisitic of Transformator Oil, Breakdown Voltage Test, DGA*

-----Halaman ini sengaja dikosongkan-----

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT yang selalu memberikan rahmat dan hidayah-Nya sehingga Tugas Akhir ini dapat terselesaikan dengan baik. Shalawat serta salam semoga selalu dilimpahkan kepada Rasulullah Muhammad SAW, keluarga, sahabat, dan umat muslim yang senantiasa meneladani beliau.

Tugas Akhir ini disusun untuk memenuhi sebagian persyaratan guna menyelesaikan pendidikan Strata-1 pada Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga, Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya dengan judul:

ANALISIS PENGARUH POLA PERUBAHAN BEBAN PADA SISTEM *SMART GRID* TERHADAP KARAKTERISITIK FISIK DAN ELEKTRIS MINYAK TRANSFORMATOR

Dalam Tugas Akhir ini dilakukan penelitian tentang pengaruh perubahan beban pada transformator yang direpresentasikan dengan pemanasan thermal terhadap karakteristik fisik dan elektrik minyak transformator.

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Ibu dan Bapak penulis yang memberikan berbagai bentuk doa serta dukungan tulus tiada henti, Bapak Daniar Fahmmi, S.T., M.T., dan Bapak Dr. Eng. I Made Yulistya Negara, S.T., M.Sc., atas segala bimbingan ilmu, moral, dan spiritual dari awal hingga terselesaikannya Tugas Akhir ini. Penulis juga mengucapkan banyak terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu baik secara langsung maupun tidak langsung dalam proses penyelesaian Tugas Akhir ini.

Penulis menyadari dan memohon maaf atas segala kekurangan pada Tugas Akhir ini. Akhir kata, semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat dalam pengembangan keilmuan di kemudian hari.

Surabaya, 26 Juni 2018

Penulis

-----Halaman ini sengaja dikosongkan-----

DAFTAR ISI

	HALAMAN
HALAMAN PENGESAHAN	ix
ABSTRAK	xi
ABSTRACT	xiii
KATA PENGANTAR.....	xv
DAFTAR ISI	xvii
DAFTAR GAMBAR	xxi
DAFTAR TABEL	xxv
 BAB I.....	 1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Permasalahan	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan	3
1.5 Metodologi Penelitian	3
1.6 Sistematika Laporan.....	4
1.7 Relevansi	5
 BAB II.....	 7
2.1 Transformator.....	7
2.1.1 Prinsip Kerja Transformator	7
2.1.2 Kontruksi Transformator	8
2.2 Minyak Transformator	9
2.3 Fungsi Minyak Transformator	10
2.4 Pembangkitan Tegangan Tinggi AC	11
2.5 Mekanisme Kegagalan Dielektrik Cair	12
2.5.1 Kegagalan Elektronik	12
2.5.2 Kegagalan Akibat Benda Pejal.....	12
2.5.3 Kegagalan Volume Minyak Bertekanan.....	13
2.6 Pengujian Minyak Transformator	14
2.6.1 <i>Breakdown Voltage Test</i> (BDV test) / Pengujian Tegangan Tembus	14
2.6.2 <i>Dissolved Gas Analysis</i> (DGA)/Pengujian Kandungan Gas Terlarut.....	15
2.7 TDCG (<i>Total Dissolved Combustion Gas</i>)	16

2.8	Intermiten.....	17
2.9	Korelasi Pembebanan terhadap Isolasi Transformator.....	18
BAB III.....		21
3.1	<i>Experimental Set Up</i>	23
3.2	Peralatan	23
3.2.1	Minyak Mineral Nynas Nitro Libra	24
3.2.2	Oven.....	24
3.2.3	Gelas Beaker.....	25
3.2.4	Modul Pembangkitan AC untuk Pengujian Tegangan Tembus.....	25
3.2.5	Alat Ukur Temperatur.....	27
3.3	Pengondisian Sample Uji	28
3.4	Metode Uji DGA Sebelum Pemanasasan	28
3.5	Pemanasan	31
3.5.1	Grafik Sample Kurva Beban Harian Tranformator	31
3.5.2	Grafik Kurva Beban Harian Transformator karena terpengaruh PV	36
3.5.3	Grafik Kurva Beban Harian Transformator karena Pengaruh <i>Charging Station</i>	42
3.5.4	Grafik Kurva Beban Kondisi Konstan	46
3.6	Pengamatan Visual untuk Karakteristik Fisik.....	47
3.7	Pengujian Tegangan Tembus (<i>Breadown Voltaage Test</i>).....	47
3.8	Metode Uji DGA Setelah Pemanasan	49
BAB IV.....		51
4.1	Hasil Pengamatan Karakteristik Fisik.....	51
4.1.1	Karakteristik Fisik Minyak Transformator Sample Kurva Beban Harian Transformator	51
4.1.2	Karakteristik Fisik Minyak Transformator Sample PV ...	54
4.1.3	Karakteristik Fisik Minyak Transformator Sample <i>Charging Station</i>	57
4.1.4	Karakteristik Fisik Minyak Trafo Sample Konstan	60
4.1.5	Hasil perbandingan	63
4.2	Hasil Pengujian <i>Breakdown Voltage</i>	65
4.2.1	Hasil Pengujian Tegangn Tembus Sample Kurva Beban Harian Transformator.....	65
4.2.2	Hasil Pengujian Tegangn Tembus Sample PV	68
4.2.3	Hasil Pengujian Tegangn Tembus Sample <i>Charging Station</i>	71

4.2.4 Hasil Pengujian Tegangn Tembus Sample Konstan.....	75
4.2.5 Hasil perbandingan.....	77
4.3 Hasil Pengujian DGA.....	78
4.3.1 Pengujian DGA sebelum proses pemanasan	79
4.3.2 Pengujian DGA setelah proses pemanasan	80
4.3.3 Perbandingan DGA	85
BAB V	87
5.1 Kesimpulan	87
5.2 Saran	88
DAFTAR PUSTAKA	89
LAMPIRAN A.....	91
LAMPIRAN B	93
LAMPIRAN C	95
LAMPIRAN D.....	97
LAMPIRAN E	98
LAMPIRAN F	101
LAMPIRAN G.....	103
LAMPIRAN H.....	105
LAMPIRAN I	107
LAMPIRAN J	108
LAMPIRAN K.....	110
LAMPIRAN L	112
LAMPIRAN M	114
LAMPIRAN N.....	115
LAMPIRAN O.....	116
LAMPIRAN P	117
LAMPIRAN Q.....	118
BIOGRAFI PENULIS	121

-----Halaman ini sengaja dikosongkan-----

DAFTAR GAMBAR

	HALAMAN
Gambar 2.1 Transformator	7
Gambar 2.2 Konstruksi sederhana Transformator	8
Gambar 2.3 <i>Core Form</i>	8
Gambar 2.4 <i>Shell Form</i>	8
Gambar 2.5 Minyak Transformator	10
Gambar 2.6 Konstruksi Transformator Pengujian ⁵	11
Gambar 2.7 Kekuatan Isolasi Gas Cair Padat ⁵	13
Gambar 2.8 Pengujian Tegangan Tembus	15
Gambar 2.9 Faktor Kerusakan Minyak dan Kertas Isolasi Trafo	19
Gambar 3.1 <i>Flowchart</i> pengujian tugas akhir	22
Gambar 3.2 <i>Experimental Set Up</i>	23
Gambar 3.3 Minyak Baru Nynas Nitro Libra	24
Gambar 3.4 Oven.....	24
Gambar 3.5 Gelas Beaker.....	25
Gambar 3.6 Modul Pembangkitan AC	26
Gambar 3.7 Rangkaian Pembangkitan AC.....	26
Gambar 3.8 Rangkain Pembagi Kapasitor.....	26
Gambar 3.9 Fluke 62 <i>Infrared Thermometer</i>	27
Gambar 3.10 <i>Syringe</i>	29
Gambar 3.11 <i>Oil Flushing Unit</i>	29
Gambar 3.12 Alat <i>Syringe Shaker</i>	30
Gambar 3.13 Alat Pengujian DGA bermerek MYRKOS	30
Gambar 3.14 <i>Oil Trap</i>	30
Gambar 3.15 Tampilan Program DGA.....	31
Gambar 3.16 Kurva Beban Harian	32
Gambar 3.17 Prosentase Beban Sample Kurva Beban Harian Trafo ...	33
Gambar 3.18 Suhu Real Sample Kurva Beban Harian Trafo	34
Gambar 3.19 Suhu Oven Sample Kurva Beban Harian Trafo	35
Gambar 3.20 Tranformator yang dipengaruhi PV	36
Gambar 3.21 Supply PV 18 November 2017	38

Gambar 3.22	Supply PV 19 November 2017	38
Gambar 3.23	Supply PV 20 November 2017	38
Gambar 3.24	Kurva Beban Transformator karena pengaruh PV	39
Gambar 3.25	Prosentase Beban Sample PV	40
Gambar 3.26	Suhu <i>Real</i> Sample PV	41
Gambar 3.27	Suhu Oven Sample PV	42
Gambar 3.28	Prosentase Beban <i>Charging Station</i>	43
Gambar 3.29	Kurva Beban Transformator karena Pengaruh CS	44
Gambar 3.30	Suhu <i>Real</i> Sample <i>Charging Station</i>	45
Gambar 3.31	Suhu Oven Sample <i>Charging Station</i>	46
Gambar 3.32	Pemanasan Suhu Konstan	47
Gambar 3.33	Perangkat Pengujian Tegangan Tembus ¹⁰	47
Gambar 4.1	Karakteristik Fisik Sample Kurva Beban Harian Transformator Pemanasan (a) 2 hari, (b) 4 hari, (c) 6 hari, dan (d) 7 hari	52
Gambar 4.2	Endapan Sample Kurva Beban Harian Transformator Pemanasan (a) 2 hari, (b) 4 hari, (c) 6 hari, dan (d) 7 hari	53
Gambar 4.3	Karakteristik Fisik Sample PV Pemanasan (a) 2 hari , (b) 4 hari, (c) 6 hari, dan (d) 7 hari	55
Gambar 4.4	Endapan Sample PV Pemanasan (a) 2 hari, (b) 4 hari, (c) 6 hari, (d) 7 hari	56
Gambar 4.5	Karakteristik Fisik Sample <i>Charging Station</i> (a) 2 hari, (b) 4 hari, (c) 6 hari, dan (d) 7 hari	58
Gambar 4.6	Endapan Sample <i>Charging Station</i> Pemanasan (a) 2 hari, (b) 4 hari, (c) 6 hari, dan (d) 7 hari	59
Gambar 4.7	Karakteristik Fisik Sample Konstan (a) 2 hari, (b) 4 hari, (c) 6 hari, dan (d) 7 hari	61
Gambar 4.8	Endapan Sample Konstan (a) 2 hari, (b) 4 hari, (c) 6 hari, dan (d) 7 hari	62
Gambar 4.9	Perbandingan Karakteristik Fisik Sample Kurva Beban Harian Transformator	63
Gambar 4.10	Perbandingan Karakteristik Fisik Sample PV	63
Gambar 4.11	Perbandingan Karakteristik Fisik Sample CS	64
Gambar 4.12	Perbandingan Karakteristik Fisik Sample Konstan	64
Gambar 4.13	Tegangan Tembus Sample Kurva Beban Harian Trafo ..	67

Gambar 4.14	Kandungan Air Sample Kurva Beban Harian Trafo	67
Gambar 4.15	Tegangan Tembus Sample PV	69
Gambar 4.16	Kandungan Air Sample PV	70
Gambar 4.17	Tegangan Tembus Sample <i>Charging Station</i>	72
Gambar 4.18	Kandungan Air Sample <i>Charging Station</i>	73
Gambar 4.19	Tegangan Tembus Sample Konstan.....	76
Gambar 4.20	Kandungan Air Sample Konstan	77
Gambar 4.21	Grafik Tegangan Tembus Total	77
Gambar 4.22	Kandungan Gas Terlarut Nynas Sebelum Pemanasan	79
Gambar 4.23	Kandungan Gas Terlarut Sample Kurva Beban Harian Transformator	81
Gambar 4.24	Kandungan Gas Terlarut Sample PV	82
Gambar 4.25	Kandungan Gas Terlarut Sample <i>Charging Station</i>	83
Gambar 4.26	Kandungan Gas Terlarut Sample Konstan.....	85

-----Halaman ini sengaja dikosongkan-----

DAFTAR TABEL

HALAMAN

Tabel 2.1	Konsentrasi Gas Terlarut.....	16
Tabel 2.2	Penyebab intermiten dari berbagai RES	18
Tabel 3.1	Kurva Baban Harian.....	32
Tabel 3.2	Prosentase Beban Sample Kurva Beban Harian Trafo	33
Tabel 3.3	Suhu <i>Real</i> Sample Kurva Beban Harian Transformator.....	34
Tabel 3.4	Klasifikasi <i>Range</i> Suhu Oven.....	35
Tabel 3.5	Suhu Oven Sample Kurva Beban Harian Transformator	35
Tabel 3.6	<i>Supply</i> PV Tanggal 18 November 2017	37
Tabel 3.7	<i>Supply</i> PV Tanggal 19 November 2017	37
Tabel 3.8	<i>Supply</i> PV Tanggal 22 November 2017	37
Tabel 3.9	Kurva Beban Transformator karena pengaruh PV	39
Tabel 3.10	Prosentase Beban Sample PV	40
Tabel 3.11	Suhu <i>Real</i> Sample PV	41
Tabel 3.12	Suhu Oven Sample PV	42
Tabel 3.13	Prosentase Beban <i>Charging Station</i>	43
Tabel 3.14	Kurva Beban Transformator karena pengaruh <i>CS</i>	44
Tabel 3.15	Suhu <i>Real</i> Sample <i>Charging Station</i>	45
Tabel 3.16	Suhu Oven Sample <i>Charging Station</i>	46
Tabel 3.17	Pemanasan Suhu Konstan.....	46
Tabel 3.18	Parameter Pengujian Tegangan Tembus	48
Tabel 4.1	Karakteristik Warna Fisik Sample Kurva Beban Trafo.....	53
Tabel 4.2	Endapan Sample Kurva Beban Harian Transformator	54
Tabel 4.3	Karakteristik Fisik Sample PV	56
Tabel 4.4	Endapan Sample PV	57
Tabel 4.5	Karakteristik Fisik Sample <i>charging station</i>	58
Tabel 4.6	Endapan Sample <i>Charging Station</i>	59
Tabel 4.7	Karakteristik Fisik Sample konstan	61
Tabel 4.8	Endapan Sample Konstan.....	62
Tabel 4.9	Tegangan Tembus Sample Kurva Beban Harian Trafo.....	65
Tabel 4.10	Tegangan Tembus Sample PV	68

Tabel 4.11 Tegangan Tembus Sample <i>Charging Station</i>	71
Tabel 4.12 Tegangan Tembus Sample Konstan	75
Tabel 4.13 Kandungan Gas Terlarut Nynas Sebelum Pemanasan	79
Tabel 4.14 Kandungan Gas Terlarut Sample Kurva Beban Trafo	80
Tabel 4.15 Kandungan Gas Terlarut Sample PV	81
Tabel 4.16 Kandungan Gas Terlarut Sample <i>Charging Station</i>	83
Tabel 4.17 Kandungan Gas Terlarut Sample Konstan	84
Tabel 4.18 Perbandingan DGA	85

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Semakin tingginya permintaan kebutuhan listrik maka perlu ditemukan sumber energi listrik alternatif yang baru. *Photovoltaic* (PV), *wind turbine* adalah salah satu sumber energi listrik alternatif yang dapat dipakai karena sebagian besar pembangkit listrik menggunakan bahan bakar fosil yang tidak terbarukan. Bahan bakar tidak terbarukan ini akan habis jika dipakai terus menerus. Untuk mengatasi masalah tersebut penelitian tentang *smart grid* banyak dikembangkan. *Smart grid* merupakan konsep jaringan listrik cerdas yang menggunakan sumber energi terbarukan (*renewable energy*) untuk menghasilkan listrik yang dipakai dan dikelola secara optimal. *Smart grid* memungkinkan hubungan dua arah antara perusahaan penyedia listrik seperti PLN dengan konsumen. Pada *smart grid* transfer energi listrik tidak hanya berasal dari PLN ke konsumen, namun juga dapat berlangsung sebaliknya. Pada *smart grid* terjadi perubahan aliran daya dalam waktu relatif singkat. Perubahan aliran daya ini berakibat pada pola perubahan beban yang terhubung dengan transformator. Aliran arus beban pada transformator yang berubah-ubah menyebabkan temperatur belitan pada transformator juga berubah. Hal ini akan berpengaruh juga pada temperatur minyak transformator.

Sama halnya dengan PV, perkembangan *electric vehicle* (EV) semakin hari juga berkembang dengan pesat. Efek dari pemakaian EV ini adalah semakin banyaknya *charging station* pada area distribusi. Hal ini tentunya akan menambah pembebanan pada transformator distribusi. Artinya beban yang terhubung pada transformator distribusi semakin tinggi sehingga temperatur belitan transformator juga bertambah.

Penggunaan *smart grid* akan memberikan pengaruh pada perubahan pola beban [1]. Perubahan pola beban selanjutnya akan mempengaruhi lilitan HV primer dari transformator. Pengaruh yang dimaksud meliputi perubahan temperatur, mekanik, dan tekanan listrik pada transformator. Pada penelitian sebelumnya dilakukan uji karakteristik fisik dan listrik minyak transformator akibat perubahan temperatur [2]. Metode yang dilakukan adalah memanaskan minyak transformator pada sebuah pemanas (oven) dengan temperatur dan durasi pemanasan yang bervariasi yakni pada temperatur 100°C durasi 168 jam, temperatur 115°C durasi 96 jam, dan temperatur 125°C durasi

48 jam. Karakteristik fisik dilihat dari perubahan warna minyak transformator akibat perubahan temperatur. Karakteristik listrik diamati dari pengujian tegangan tembus.

Pada penelitian sebelumnya [1] mayoritas hanya mempelajari kajian matematis mengenai pengaruh perubahan beban terhadap transformator. Pada penelitian Tugas Akhir ini diharapkan dapat dilakukan pengujian secara nyata tentang pengaruh perubahan beban terhadap transformator khususnya minyak isolasi transformator, baik karakteristik fisik maupun listriknya. Karakteristik fisik didapatkan dari perubahan warna minyak transformator, sedangkan karakteristik listrik didapatkan dari besaran tegangan tembus minyak transformator. Pengujian dilakukan dengan memodelkan perubahan temperatur dari minyak transformator dalam waktu relatif singkat akibat pola perubahan beban. Lalu hasil yang diperoleh dibandingkan dengan minyak transformator temperatur yang cenderung konstan. Dari hasil tersebut diketahui pengaruh pola perubahan beban terhadap karakteristik fisik dan listrik minyak transformator tersebut.

1.2 Permasalahan

Permasalahan pada Tugas Akhir ini adalah:

- a. Bagaimana memodelkan kurva beban harian transformator sebagai persiapan pengujian minyak isolasi transformator.
- b. Bagaimana memodelkan kurva beban harian transformator karena pengaruh PV sebagai persiapan pengujian minyak isolasi transformator.
- c. Bagaimana memodelkan kurva beban harian transformator karena pengaruh *charging station* sebagai persiapan pengujian minyak isolasi transformator.
- d. Bagaimana memodelkan kurva beban transformator pada kondisi konstan (*full load*) sebagai persiapan pengujian minyak isolasi transformator.
- e. Menentukan pengaruh perubahan beban terhadap karakteristik fisik dan listrik minyak transformator.

1.3 Batasan Masalah

Dalam pembuatan Tugas Akhir ini batasan masalah ada pada:

- a. Minyak transformator yang digunakan adalah jenis minyak mineral Nynas Nitro Libra.

- b. Pengambilan data dilakukan pada Laboratorium Tegangan Tinggi Teknik Elektro ITS dengan tegangan tembus maksimal yang aman 50kV.
- c. Proses pemanasan menggunakan oven dengan pengatur suhu analog.
- d. Hubungan pembebanan transformator dan temperatur dianggap konstan.
- e. Pengujian tidak dapat dilaksanakan pada kondisi vakum karena keterbatasan alat uji sehingga terpengaruh faktor tekanan udara dan kelembapan.

1.4 Tujuan

Tujuan pada Tugas Akhir ini adalah:

- a. Mendapatkan model kurva beban harian transformator.
- b. Mendapatkan model kurva beban harian transformator karena pengaruh PV.
- c. Mendapatkan model kurva beban harian transformator karena pengaruh *charging station*.
- d. Mendapatkan model kurva beban transformator pada kondisi konstan (*full load*).
- e. Mengetahui pengaruh perubahan beban terhadap karakteristik fisik dan listrik minyak transformator.

1.5 Metodologi Penelitian

Tugas akhir ini diawali dengan studi literatur. Kemudian menyiapkan minyak transformator yang diperoleh dari PT. Bambang Djaja. Jenis minyak yang diteliti adalah minyak mineral Nynas Nitro Libra. Pengujian pertama adalah Dissolve Gas Analysis (DGA) yang dilakukan di Laboratorium PT. Bambang Djaja. Kemudian minyak transformator dibagi menjadi beberapa sample yakni sample 1 kurva beban harian transformator, sample kurva beban harian transformator karena pengaruh PV, sample kurva beban harian transformator karena pengaruh *charging station*, dan sample kurva beban transformator pada kondisi konstan (*full load*). Kemudian setiap sample melalui proses pemanasan yang dilakukan dengan oven dan terbagi lagi menjadi empat buah bagian sample pemanasan 2 hari, sample pemanasan 4 hari, sample pemanasan 6 hari, dan sample pemanasan 7 hari sehingga pada penelitian Tugas Akhir ini terdapat total 16 sample dengan berbagai pola dan lama pemanasan yang berbeda-beda. Selanjutnya mengamati

karakteristik fisik dari minyak transformator setiap sample. Pengamatan fisik dilakukan secara visual dengan mengamati perubahan warna serta endapan yang terbentuk pada tabung beaker. Tahap berikutnya adalah mengamati karakteristik elektrik melalui pengujian tegangan tembus. Pengujian tegangan tembus menggunakan perangkat tes pada Laboratorium Tegangan Tinggi Teknik Elektro ITS. Setelah itu dilakukan pengujian *water content* minyak transformator di Laboratorium Kualitas Lingkungan Teknik Lingkungan ITS untuk mengetahui jumlah kadar air pada minyak transformator. Selanjutnya dilakukan uji DGA setelah proses pemanasan. Hasil uji DGA sebelum dan sesudah proses pemanasan diperoleh dan dianalisa pengaruh pemanasan terhadap kandungan gas yang muncul pada minyak transformator. Setelah data percobaan diperoleh, selanjutnya dilakukan analisa. Dari hasil analisa dibuat suatu kesimpulan dan selanjutnya ditulis dalam sebuah laporan Tugas Akhir.

1.6 Sistematika Laporan

Penyelesaian Tugas Akhir ini dilakukan dengan sistematika sebagai berikut:

Bab I Pendahuluan

Bab ini diawali Pendahuluan dengan alasan dan tujuan pemilihan Tugas Akhir.

Bab II Teori Dasar

Bab Teori Dasar berisi penjelasan teori penunjang yang terkait Tugas Akhir.

Bab III Metode Pengujian

Berisi tentang uraian pengujian DGA (*Dissolve Gas Analysis*) yang dilakukan pada PT. Bambang Djaja dan pengujian tegangan tembus minyak pada Laboratorium Tegangan Tinggi Teknik Elektro ITS.

Bab IV Hasil Pengujian dan Analisa Data

Berisi data hasil pengujian DGA dan tegan tembus beserta analisisnya.

Bab V Penutup

Bab Penutup yang berisi kesimpulan dan saran mengenai Tugas Akhir.

1.7 Relevansi

Hasil dari proyek Tugas Akhir ini adalah untuk mengetahui pengaruh dari pola perubahan beban dalam waktu yang relatif singkat terhadap karakteristik fisik dan elektris minyak transformator. Harapannya informasi tersebut dapat dijadikan sebagai bahan rekomendasi untuk meminimalisir kerusakan pada transformator sehingga mengurangi biaya pemeliharaan. Selain itu pengetahuan tersebut juga mampu menambah informasi tentang minyak isolasi transformator yang dapat dikembangkan lebih baik di kemudian hari.

-----Halaman ini sengaja dikosongkan-----

BAB II

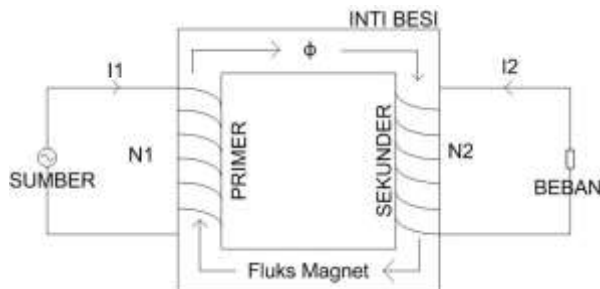
TEORI DASAR

2.1 Transformator

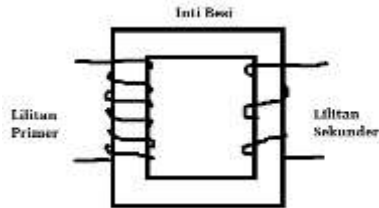
2.1.1 Prinsip Kerja Transformator

Transformator yang ditunjukkan oleh Gambar 2.1 adalah peralatan yang digunakan untuk menaikkan atau menurunkan tegangan bolak balik dari suatu level ke level lainnya melalui aksi medan magnet [3]. Jika dalam penggunaannya transformator digunakan untuk menaikkan level tegangan output maka disebut transformator *step up*. Jika transformator digunakan untuk menurunkan level tegangan output maka disebut transformator *step down*. Pada sistem transmisi, energi ditransmisikan dengan $I^2 R$ untuk mengurangi *losses* sehingga diperlukan arus yang rendah pada tegangan tinggi. Pada pusat pembangkit terdapat transformator *step up* untuk menaikkan tegangan. Setelah itu energi mengalir melalui saluran transmisi. Pada ujung saluran transmisi terdapat transformator *step down* untuk menurunkan tegangan hingga ke harga yang aman dan dapat digunakan.

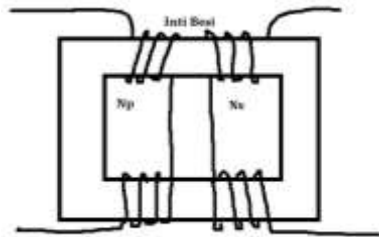
Transformator bekerja berdasarkan prinsip induksi elektromagnetik. Lilitan primer yang terhubung oleh tegangan bolak balik menghasilkan fluks magnet. Fluks magnet ini terpapar ke lilitan sekunder. Akibatnya fluks tersebut menginduksikan gaya gerak listrik (ggl) pada lilitan sekunder.



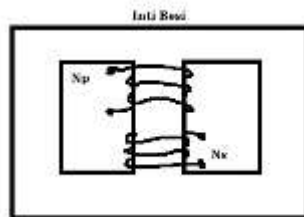
Gambar 2.1 Transformator



Gambar 2.2 Konstruksi sederhana Transformator



Gambar 2.3 Core Form



Gambar 2.4 Shell Form

2.1.2 Kontruksi Transformator

Konstruksi transformator sederhana terdiri dari dua kumparan yang dililitkan pada inti besi seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 2.2. Lilitan yang terhubung ke sumber disebut lilitan primer, sedangkan lilitan yang terhubung ke beban disebut lilitan sekunder. Konstruksi transformator terbagi menjadi dua yaitu *core form* dan *shell form* [4]. *Core form* seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 2.3 terdiri dari *core* yang terbuat dari besi berlaminasi sederhana berbentuk persegi panjang dengan *coil* melingkar pada dua sisi *core* tersebut. Konstruksi lain untuk transformator ditunjukkan oleh Gambar 2.4 yakni *shell form*. *Shell*

form terdiri dari *core* berlaminasi yang terdiri dari tiga bagian dimana *coil* melingkar pada bagian tengah dari transformator tersebut.

Power transformer terbagi menjadi beberapa bagian berdasarkan penggunaannya. *Unit transformer* adalah transformator yang terkoneksi dengan *output* generator dan digunakan untuk menaikkan tegangan hingga ke level transmisi. *Substation transformer* adalah transformator yang berada pada ujung saluran transmisi dan digunakan untuk menurunkan tegangan dari transmisi level ke distribusi level. *Distribution transformer* adalah transformator yang digunakan untuk menurunkan tegangan dari distribusi level ke tegangan akhir yang siap digunakan. Terdapat juga transformator khusus yakni *potensial transformer* dan *current transformer*. *Potensial transformer* adalah transformator yang digunakan untuk sample tegangan tinggi pada lilitan primer lalu menghasilkan tegangan rendah pada lilitan sekunder untuk keperluan sensing. Besarnya tegangan pada lilitan primer proporsional dengan tegangan pada lilitan sekunder. Perbedaan *power transformer* dengan *potensial transformer* adalah untuk *potensial transformer* digunakan pada arus yang kecil sedangkan *power transformer* digunakan pada arus yang besar. *Current transformer* adalah transformator yang digunakan untuk menghasilkan arus sekunder yang lebih kecil tetapi tetap proporsional dengan arus primer.

2.2 Minyak Transformator

Minyak transformator adalah salah satu jenis isolasi cair. Minyak transformator mempunyai berbagai macam fungsi seperti dielektrik bahan isolasi, menghilangkan panas, pemisah antara kertas dan efek perusak dari oksigen dan uap, alat diagnosis untuk evaluasi kondisi transformator, media atau alat untuk memadamkan busur api, dan alat pelindung terhadap korosi serta oksidasi.

Macam-macam dari minyak transformator terbagi menjadi tiga yakni minyak mineral, minyak sintetis, dan *vegetable oil*. Minyak mineral adalah minyak bumi yang telah melalui berbagai proses distilasi untuk mendapatkan komposisi minyak yang diinginkan. Komposisi minyak mineral terdiri dari *Paraffine* 40% sampai 60%, *Naphthene* 30% sampai 50%, *Aromate* 5% sampai 20%, dan *Olefine* 1%. Contoh jenis dari minyak mineral adalah Nynas Nitro Libra, Diala B dan lain-lain. Salah satu contoh minyak mineral jenis Nynas Nitro Libra ditunjukkan oleh Gambar 2.5.



Gambar 2.5 Minyak Transformator

Minyak sintetis adalah minyak yang sengaja dibuat oleh manusia dengan rekayasa teknologi tertentu. Minyak sintetis antara lain hidrokarbon murni (*Polyisobuten* atau *Dodecylbenzol*), *Askarel* (*Polychlorinated biphenyl*), cairan silikon, dan ester cair. Jenis minyak yang lain yang sedang diteliti adalah *Vegetabel oil*.

Kandungan dalam minyak transformator adalah molekul hidrokarbon seperti CH_3 , CH_2 , dan CH . Akibat pemanasan, molekul hidrokarbon tersebut akan membentuk fragmen-fragmen ion seperti H^* , CH_3^* , CH_2^* , CH^* , atau C^* . Kemudian fragmen-fragmen ion ini akan berkombinasi membentuk molekul-molekul gas hydrogen (H-H), metana ($\text{CH}_3\text{-H}$), etana ($\text{CH}_3\text{-CH}_3$), etilen ($\text{CH}_2=\text{CH}_2$), atau asetilen ($\text{CH}\equiv\text{CH}$). Molekul gas hydrogen, metana, serta etana terbentuk karena fenomena *partial discharge* dan korona. Molekul gas etilen terbentuk karena proses pemanasan minyak pada temperatur rendah. Molekul gas esetelin terbentuk karena proses pemanasan minyak pada temperatur tinggi.

2.3 Fungsi Minyak Transformator

Fungsi minyak transformator meliputi [6]:

- a. Minyak transformator sebagai pendingin
Salah satu fungsi minyak transformator adalah sebagai pendingin. Fungsi pendingin yang dimaksud yakni menyerap panas pada transformator lalu panas tersebut didistribusikan ke udara sehingga peralatan transformator tidak cepat rusak.
- b. Minyak transformator sebagai isolator
Fungsi minyak transformator yang kedua adalah sebagai isolator. Fungsi isolator yang dimaksud adalah minyak

transformator melindungi antara bagian-bagian transformator yang bertegangan. Perlindungan ini dimaksudkan untuk menghindari *arching* (lompatan listrik) atau *spark over* (percikan listrik).

- c. Minyak isolator sebagai pelindung komponen transformator

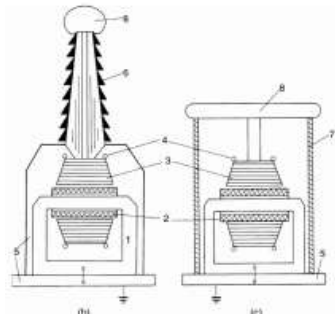
Fungsi minyak transformator yang ketiga adalah sebagai pelindung. Fungsi pelindung yang dimaksud adalah melindungi komponen-komponen penting pada transformator, selain itu minyak transformator juga berfungsi sebagai pelumas bagian-bagian transformator.

2.4 Pembangkitan Tegangan Tinggi AC

Pembangkitan tegangan tinggi AC yang dibahas adalah pembangkitan tegangan tinggi AC untuk pengujian sistem isolasi peralatan-peralatan tegangan tinggi. Persyaratan pembangkitan tegangan tinggi AC adalah [5]:

- a. Harga efektif harmonisa kurang dari 5% dari harga efektif sinus. Tegangan efektif ditunjukkan oleh Persamaan 2.1.
- b. Bentuk tegangan *cycle* positif dan negatif sama.
- c. Tegangan testing adalah tegangan puncak (V_{peak}) dibagi $\sqrt{2}$

$$V_{eff} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T v^2(t) dt} \quad (2.1)$$



Gambar 2.6 Konstruksi Transformator Pengujian⁵

Tranformator untuk pengujian pembangkitan tegangan tinggi AC ditunjukkan oleh Gambar 2.6 menggunakan transformator 1 fasa dan satu potensial diketanahkan. Tegangan yang dapat diinjeksikan mencapai 100kV. Gambar 2.6 menunjukkan jenis transformator untuk pembangkit tegangan tinggi AC. Terbagi menjadi dua jenis konstruksi, yang pertama transformator uji dengan *bushing* dan yang kedua adalah transformator uji tanpa *bushing*. Kelebihan konstruksi transformator dengan menggunakan *bushing* adalah pelepasan panas yang lebih bagus dan efektif tetapi kelemahannya adalah harga *bushing* yang mahal dan memerlukan ruang ekstra untuk penempatan *bushing*.

2.5 Mekanisme Kegagalan Dielektrik Cair

Kegagalan Dielektrik cair dipengaruhi oleh beberapa faktor berikut:

- a. Jenis isolasi cair
- b. Besar tegangan yang dikenakan
- c. Bentuk dan material elektrode
- d. Kandungan air dalam isolasi cair
- e. Ketidakmurnian isolasi air

Oleh karena itu kegagalan isolasi cair sedikit susah untuk dijelaskan daripada kegagalan isolasi gas karena kegagalan isolasi cair bergantung dari dominasi penyebab kegagalan serta setiap isolasi cair memiliki kandungan kimia dan fisik yang berbeda beda. Kecenderungan yang muncul adalah proses kegagalan akan semakin sulit terjadi jika kerapatan isolasi (berkurangnya jalur bebas elektron) meningkat.

Beberapa teori kegagalan isolasi zat cair dijabarkan sebagai berikut:

2.5.1 Kegagalan Elektronik

Kegagalan elektronik dikenal pula dengan samaran peluasan gas. Elektron mula berasal dari proses emisi pada elektrode. Diperoleh pada isolasi cair murni dengan tegangan uji yagn sangat cepat (tegangan impuls).

2.5.2 Kegagalan Akibat Benda Pejal

Sebelum dipakai, isolasi cair mengalami beberapa proses tertentu seperti filter dan pengeringan. Proses pengeringan ini bertujuan untuk mengurangi kandungan air pada isolasi cair. Namun, setelah pemakaian

yang lama maka akan timbul partikel – partikel terlarut atau fiber yang membuat kotor isolasi cair tersebut.

Untuk peralatan yang tidak tertutup, jika terjadi kontak dengan atmosfer serta karena proses penuaan maka muncul air pada isolasi cair. Hal ini akan mempercepat proses kegagalan.

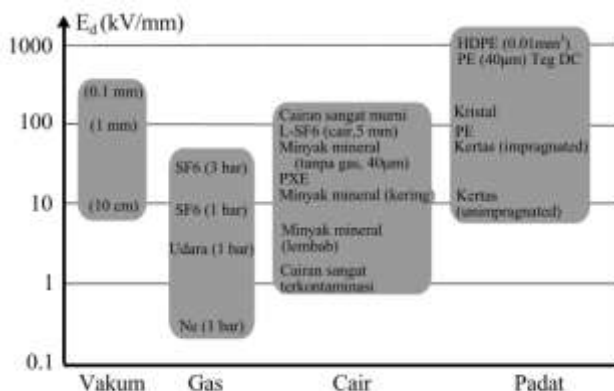
Fiber atau serat selulosa dari isolasi kertas mampu menyerap kelembapan sehingga meningkatkan konstanta dielektrik. Saat terdapat medan listrik, fiber ini akan terpolarisasi. Fiber yang terpolarisasi akan bergerak ke medan lebih tinggi, sehingga terbentuk jembatan konduktansi antar elektrode.

Jika terjadi pembentukan jembatan fiber maka terjadi peningkatan arus. Peningkatan arus ini menimbulkan panas. Akibatnya terbentuklah uap pada isolasi cair. Gelembung gas yang terbentuk memicu kegagalan semakin tinggi.

2.5.3 Kegagalan Volume Minyak Bertekanan

Tegangan tembus (*breakdown voltage*) sangat dipengaruhi oleh kandungan gas, kekentalan minyak, serta kontaminan lainnya. Semakin tinggi nilai gas tertekan (*stressed oil*) maka susunan kandungan gas dan kontaminan dalam minyak akan semakin padat. Akibatnya proses terjadinya tegangan tembus akan semakin sulit. Oleh karena itu semakin tinggi nilai gas tertekan maka nilai tegangan tembus semakin rendah.

Masing-masing isolasi mempunyai kekuatan yang berbeda-beda. Kekuatan masing-masing isolasi ditampilkan dalam Gambar 2.7.



Gambar 2.7 Kekuatan Isolasi Gas Cair Padat⁵

Dalam gambar tersebut terlihat bahwa kekuatan isolasi yang paling rendah berturut-turut dari isolasi gas, cair, dan padat. Pada Gambar juga terlihat bahwa isolasi dengan tingkat kemurnian yang tinggi akan memiliki kekuatan isolasi yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan isolasi yang telah terkontaminasi. Isolasi cair biasanya digunakan pada keperluan sebagai berikut:

- a. Bahan isolasi pada transformator
- b. Bahan pengisi pada kondensator dan kabel
- c. Sebagai pendingin pada transformator
- d. Digunakan untuk menghilangkan *arc flash* pada *Oil CB*
- e. Dielektrik yang tinggi pada kapasitor

2.6 Pengujian Minyak Transformator

Berikut akan dijelaskan dua buah pengujian minyak transformator yang meliputi:

2.6.1 Breakdown Voltage Test (BDV test) / Pengujian Tegangan Tembus

Pengujian tegangan tembus dilakukan guna mengetahui kemampuan isolasi minyak untuk menahan tegangan tertentu hingga terjadi *breakdown*. *Breakdown* (tegangan tebus) adalah fenomena apabila medan magnet (tegangan) dinaikkan terus menerus, atom-atom akan terionisasi dan isolator sampai pada batas tertentu menahan tegangan hingga berubah menjadi konduktor [7]. Perbedaan tegangan tembus tersebut dapat disebabkan oleh kandungan yang berbeda-beda, seperti kandungan minyak baru, kandungan minyak bekas, kandungan minyak mineral, kandungan minyak sintetis, kandungan minyak nabati, kandungan minyak yang berkontaminan dan lain-lain. Kontaminan yang terkandung di dalam minyak juga bermacam-macam antara lain, air, zat padat, serabut-serabut halus (carbon) hasil pengujian tegangan tembus sebelumnya. Pada pengujian tegangan tembus diselenggarakan berdasarkan standar IEC 60156 yakni menggunakan dua buah elektrode berbentuk *mushroom* dan jarak sela yang digunakan adalah 2.5 mm. Pada *breakdown voltage test* diinjeksikan tegangan dengan nilai maksimum yang aman adalah 50 KV. Tegangan diinjeksikan secara bertahap sebesar 2kV setiap kenaikan tegangan hingga timbul *breakdown voltage* antara kedua elektrode. Gambar 2.8 menunjukkan

bagian dari modul pengujian tegangan tembus pada Laboratorium Tegangan Tinggi Teknik Elektro ITS.



Gambar 2.8 Pengujian Tegangan Tembus

2.6.2 Dissolved Gas Analysis (DGA)/Pengujian Kandungan Gas Terlarut

DGA adalah suatu pengujian untuk mengetahui kandungan gas yang terdapat pada minyak transformator [8]. Dengan mengetahui kandungan gas dalam suatu minyak transformator maka dapat diketahui kualitas dari minyak transformator bahkan dengan data tersebut dapat diintrepetasikan juga penyebab dari kegagalan atau kerusakan dari minyak transformator.

DGA terdiri dari 4 step yang terdiri atas *oil sampling*, *dissolved gas extraction*, *gasses analysis* dan *result interpretation*. DGA cukup efektif untuk mengidentifikasi kegagalan elektrik dan kegagalan thermal. Kegagalan elektrik yang dimaksud adalah *partial discharge* (PD) dan *dielectric breakdown*. Sedangkan kegagalan thermal disebabkan oleh temperatur yang sangat tinggi pada transformator sehingga kandungan minyak transformator dan kertas isolasi yang lain mulai terurai. IEC menetapkan kegagalann thermal kedalam 4 grup yakni $<150^{\circ}\text{C}$, $150-300^{\circ}\text{C}$, $300-700^{\circ}\text{C}$ dan $>700^{\circ}\text{C}$. Dalam paper lain dikelompokkan kedalam 3 grup T1($<300^{\circ}\text{C}$), T2($300-700^{\circ}\text{C}$), dan T3 ($>700^{\circ}\text{C}$). dan menurut standar IEC terbaru 60599 kegagalan thermal dijelaskan lebih rinci sebagai berikut [9]:

- Kegagalan thermal dibawah 300°C (T1) ditandai dengan warna kertas isolasi yang mulai berwarna kecoklatan.
- Kegagalan thermal dibawah $300\text{-}700^{\circ}\text{C}$ (T2) ditandai dengan warna kertas isolasi mulai terkarbonisasi.
- Kegagalan thermal diatas 700°C (T3) ditandai dengan karbonisasi minyak, warna logam dan fusi.

2.7 TDCG (*Total Dissolved Combustion Gas*)

TDCG digunakan untuk mengetahui gas terlarut yang mudah terbakar yang telahdibebaskan atau dipisahkan dalam minyak. Menurut IEC C57 104 1991 hasil pengujian DGA dikelompokkan ke dalam 4 kondisi dengan komposisi masing-masing gas ditunjukkan oleh Tabel 2.1 sebagai berikut [8]:

Kondisi 1: transformator beroperasi normal tetapi perlu tetap dilakukan pemantauan.

Kondisi 2: nilai TDCG mulai tinggi dan perlu diwaspadai gejala-gejala kegagalan yang mungkin timbul.

Kondisi 3: nilai TDCG menunjukkan mulai terdapat penguraian dari isolasi kertas/isolasi minyak transformator sehingga perlu dilakukan perawatan.

Kondisi 4: nilai TDCG menunjukkan bahwa tingkat penguraian isolasi kertas/isolasi minyak transformator telah tinggi

Pada perhitunga nilai TDCG nilai N_2 dan CO_2 tidak masuk dalam proses perhitunga dikarenakan kedua gas tersebut tidak mudah terbakar.

Tabel 2.1 Konsentrasi Gas Terlarut

Jenis Gas Terlarut	Kondisi			
	1 (ppm)	2 (ppm)	3 (ppm)	4 (ppm)
<i>Hydrogen</i> (H_2)	100	700	1800	>1800
<i>Nitrogen</i> (N_2)	–			
<i>Methane</i> (CH_4)	120	140	1000	>1000
<i>Carbon Monoxide</i> (CO)	350	570	1400	>1400
<i>Carbon Dioxide</i> (CO_2)	2500	4000	10000	>10000
<i>Ethylene</i> (C_2H_4)	50	100	200	>200
<i>Ethane</i> (C_2H_6)	65	100	150	>150
<i>Acetylene</i> (C_2H_2)	35	50	80	>80
TDCG	≤ 720	1920	4630	> 4630

Hasil yang tertampil berupa kandungan gas terlarut dalam minyak. Satuannya adalah ppm (part per million). Hasil TDCG tersebut dapat diinterpretasi kemungkinan gangguan yang muncul pada minyak transformator. Beberapa kandungan gas yang mungkin muncul pada minyak transformator adalah:

Hydrogen (H₂): dihasilkan dari proses *arcing* dan *partial discharge*

Acetylene (C₂H₂): dihasilkan dari proses *arcing*

Methane (CH₄): dihasilkan karena temperature tinggi (>150⁰C)

Ethylene (C₂H₄): dihasilkan karena temperature tinggi (>300⁰C)

Ethane (C₂H₆): dihasilkan karena temperature tinggi (>300⁰C)

Carbon Monoxide (CO): dihasilkan dari oksidasi selulosa dari belitan trafo

Carbon Dioxide (CO₂): dihasilkan dari oksidasi selulosa dari belitan trafo atau dari atmosfer

Nitrogen (N₂) dan **Oxygen (O₂)**: dalam Analisa DGA gas ini tidak diperhitungkan

2.8 Intermitten

Menurut kamus besar Bahasa Indonesia intermiten mempunyai arti tidak tetap atau berjeda. Intermitten dalam pembangkitan listrik merupakan salah satu permasalahan dasar pada *renewable energy source* [11]. Intermitten pada *renewable energy source* ini disebabkan oleh ketidakmampuan fenomena alam untuk menyediakan energi selama sepanjang hari penuh. Bahkan fenomena lain yang terjadi adalah *renewable energy source* tersebut akan menghasilkan energi yang besar pada saat tidak dibutuhkan. Untuk menyelesaikan permasalahan tersebut ialah menggunakan *energy storage system*. Beberapa penyebab intermiten pada *renewable energy source* ditunjukkan oleh Tabel 2.2.

Peristiwa intermiten juga muncul pada beban. Intermitten beban terjadi karena permintaan energi yang tinggi, fluktuatif (*pulsating*), dan instantaneous seperti *hammer mills*, *rock crusher*, *reciprocating pump*, *arc welder* dan lain-lain [12].

Fenomena intermiten inilah yang perlu diselidiki terhadap pengaruh-pengaruhnya ke transformator. Bagaimana pengaruh intermiten ini terhadap reaksi-reaksi dalam transformator. Selanjutnya bagaimana reaksi-reaksi tersebut akan mempengaruhi isolasi minyak di dalam transformator.

Tabel 2.2 Penyebab intermiten dari berbagai *renewable energy source*

No	<i>Renewable energy source</i>	Penyebab intermiten
1	Angin	Ketersediaan angin Konsentrasi angin Kecepatan angin Suhu udara
2	Hydro	<i>Water current</i> Variasi musim Tingkat presipitasi
3	Solar	Jumlah dari radiasi matahari Variasi musim Kondisi cuaca Konsentrasi energi matahari
4	Geothermal	Penurunan temperaturTingka yang tidak terkontrol Level uap dan panas

2.9 Korelasi Pembebanan terhadap Isolasi Transformator

Pada saat transformator terkoneksi dengan beban, maka timbul arus yang mengalir pada transformator tersebut. Arus yang mengalir pada transformator akan mempengaruhi kenaikan temperatur di dalam transformator, dimana kinerja transformator dipengaruhi oleh temperatur [13]. Korelasi antara kenaikan temperatur dan arus ditampilkan oleh Persamaan 2.1.

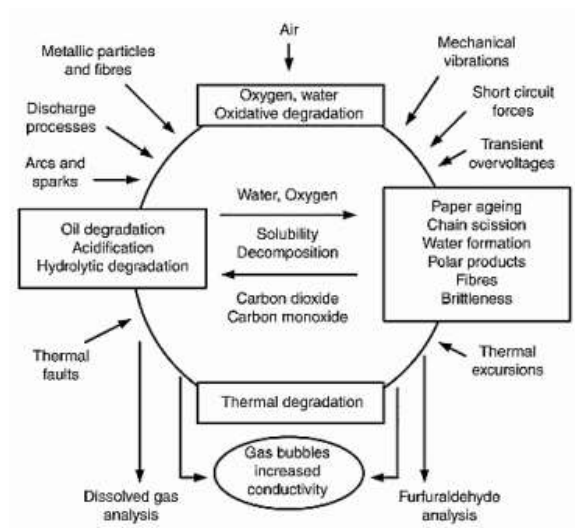
$$\theta = \frac{I_s^2 \rho t}{a_s g h} \quad (2.1)$$

Keterangan:

- θ = kenaikan temperature(^0C)
- I_s = arus yang mengalir(A)
- ρ = resistivitas (Ωm)
- a_s = luas penampang konduktor (mm^2)
- t = waktu (s)
- g = rapat materia konduktor (kg/m^3)
- h = panas material konduktor ($\text{J}/\text{kg}\cdot^0\text{C}$)

Kerusakan minyak serta kertas isolasi transformator merupakan fenomena yang kompleks yang dipengaruhi oleh berbagai faktor yang ditunjukkan oleh Gambar 2.9. Kenaikan temperatur adalah salah satu faktor yang mempengaruhi kerusakan isolasi minyak transformator [14].

Berdasarkan Gambar 2.9 kerusakan minyak dan kertas isolasi transformator diakselerasi oleh kemunculan oksigen dan air dari lingkungan sekitar tranformator. Kegagalan thermal (temperatur) juga meningkatkan peluang kerusakan minyak dan kertas isolasi transformator. Faktor lain yang mempercepat penuaan kertas isolasi adalah air, asam, dan oksigen yang berasal dari penuaan minyak.



Gambar 2.9 Faktor yang Mempengaruhi Kerusakan Minyak dan Kertas Isolasi Transformator [14]

-----Halaman ini sengaja dikosongkan-----

BAB III

METODE PENGUJIAN

Pada penelitian analisa pengaruh pola perubahan beban pada sistem *smart grid* terhadap karakteristik fisik serta elektris minyak transformator diawali dengan studi literatur. Studi literatur dimaksudkan untuk memperoleh informasi-informasi yang berkaitan dengan tema Tugas Akhir. Studi literatur dilakukan dengan melakukan pembelajaran dari jurnal, *paper*, Tugas Akhir sebelumnya, serta buku yang mempunyai pokok bahasan sejenis dengan Tugas Akhir.

Selanjutnya adalah tahap persiapan sebelum dilakukan penelitian. Pada tahap persiapan dilakukan pengumpulan beberapa informasi seperti spesifikasi minyak transformator. Minyak transformator diperoleh dari PT. Bambang Djaja sebanyak 15 liter. Jenis minyak yang diteliti adalah minyak mineral berjenis Nynas Nitro Libra. Nynas Nitro Libra adalah jenis minyak transformator yang kerap digunakan pada isolasi transformator khususnya transformator PLN. Pengujian pertama adalah Dissolve Gas Analysis (DGA) yang dilakukan di Laboratorium PT. Bambang Djaja. Tujuan uji DGA ini adalah mengetahui kandungan gas pada minyak. Kemudian minyak transformator dibagi menjadi beberapa sample yakni sample 1 kurva beban harian transformator, sample kurva beban harian transformator karena pengaruh PV, sample kurva beban harian transformator karena pengaruh *charging station*, dan sample kurva beban transformator pada kondisi konstan (*full load*). Setiap sample diletakkan pada gelas beaker masing-masing berisikan minyak 500 ml kemudian melalui proses pemanasan yang dilakukan dengan oven dan terbagi lagi menjadi empat buah bagian. Empat bagian yang dimaksud yakni sample pemanasan 2 hari, sample pemanasan 4 hari, sample pemanasan 6 hari, dan sample pemanasan 7 hari dst. Sehingga pada penelitian Tugas Akhir ini terdapat total 16 sample dengan berbagai pola dan lama pemanasan yang berbeda-beda. Selanjutnya mengamati karakteristik fisik dari minyak transformator setiap sample. Pengamatan fisik dilakukan secara visual dengan mengamati perubahan warna serta endapan yang terbentuk pada tabung beaker. Tahap berikutnya adalah mengamati karaktersitik elektris melalui pengujian tegangan tembus. Pengujian tegangan tembus menggunakan perangkat tes pada Laboratorium Tegangan Tinggi Teknik Elektro ITS. Pengujian

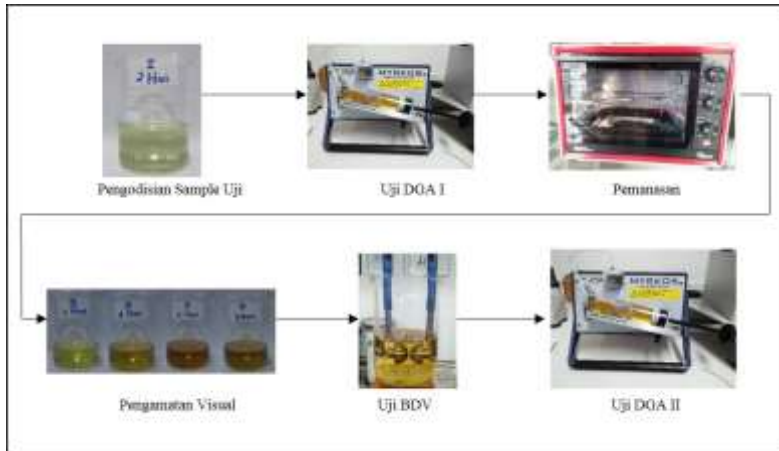
tegangan tembus diselenggarakan berdasarkan standar IEC 60156 yakni menggunakan dua buah elektrode berbentuk *mushroom* dan jarak sela yang digunakan adalah 2.5 mm. Pada pengujian tegangan tembus diinjeksikan tegangan dengan nilai maksimum yang aman 50 kV. Tegangan diinjeksikan secara bertahap hingga timbul *breakdown voltage* antara kedua elektrode. Setelah itu dilakukan pengujian *water content* minyak transformator di Laboratorium Kualitas Lingkungan Teknik Lingkungan ITS untuk mengetahui jumlah kadar air pada minyak transformator. Selanjutnya dilakukan uji DGA setelah proses pemanasan. Hasil uji DGA sebelum dan sesudah proses pemanasan diperoleh dan dianalisa pengaruh pemanasan terhadap kandungan gas yang muncul pada minyak transformator. Setelah data percobaan diperoleh, selanjutnya dilakukan analisa. Dari hasil analisa dibuat suatu kesimpulan dan selanjutnya ditulis dalam sebuah laporan Tugas Akhir. Gambar 3.1 menunjukkan flowchart dari pengujian Tugas Akhir ini.



Gambar 3.1 Flowchart pengujian tugas akhir

3.1 *Experimental Set Up*

Gambar 3.2 menjelaskan garis besar dari pengujian yang dilakukan Tugas Akhir ini.



Gambar 3.2 *Experimental Set Up*

Pengujian diawali dengan pengondisian minyak. Minyak dibagi kedalam 16 sample yang ditempatkan di gelas beaker ukuran 1000ml. Proses dilanjutkan dengan pengujian DGA I sebelum pemanasan. Tujuannya adalah mengetahui kandungan gas terlarut sebelum dilakukan proses apapun. Selanjutnya minyak dipanasi dengan pola dan lama pemanasan yang berbeda-beda. Kemudian proses pengamatan visual untuk mengetahui karakteristik fisik dari minyak transformator. Pengamatan visual dilakukan dengan cara mengamati perubahan warna serta endapan yang terdapat pada minyak transformator. Selanjutnya adalah pengujian tegangan tembus minyak. Pengujian tegangan tembus ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik listrik minyak transformator. Dan terakhir adalah uji DGA II. Hasil uji DGA I dan uji DGA II dibandingkan untuk mengetahui gas terlarut yang muncul setelah proses pemanasan.

3.2 **Peralatan**

Beberapa peralatan dan bahan yang digunakan pada penelitian ini meliputi:

3.2.1 Minyak Mineral Nynas Nitro Libra

Minyak Nynas Nitro Libra adalah salah satu jenis minyak mineral yang kerap digunakan pada transformator distribusi PLN. Minyak Nynas Nitro Libra diperoleh dari PT. Bambang Djaja Transformer sebanyak 15 liter. Berdasarkan IEC 60296 warna dari minyak baru Nynas Nitro Libra ini adalah jernih dan bebas dari sedimen, seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 3.3. Berdasarkan ISO2719 minyak Nynas ini mempunyai *flash point* sebesar 135°C . Definisi *flash point* ini adalah suhu maksimal pemanasan minyak, sehingga pemanasan diusahakan agar tidak melampaui *flash point* tersebut. Datasheet ditunjukkan oleh Lampiran O.



Gambar 3.3 Minyak Baru Nynas Nitro Libra

3.2.2 Oven

Oven yang dipakai bertipe Ox-8830 Oxone Oven Master 30 liter ditunjukkan oleh Gambar 3.4. Oven ini berfungsi untuk melakukan percepatan termal isolasi cair minyak transformator. *Datasheet* dari oven ini ditunjukkan oleh Lampiran P.



Gambar 3.4 Oven

3.2.3 Gelas Beaker

Gelas Beaker yang dipakai berjenis 1000 ml AGC IWAKI CTE33. Gelas ini digunakan sebagai wadah minyak isolasi transformator Nynas Nitro Libra saat proses pemanasan. Gelas beaker ini juga digunakan saat pengujian tegangan tembus. Gelas ini mempunyai ketahanan terhadap suhu tinggi. Suhu maksimal yang dapat dikenakan pada gelas beaker ini adalah 200⁰C. Gambar 3.5 menunjukkan gelas beaker tersebut.



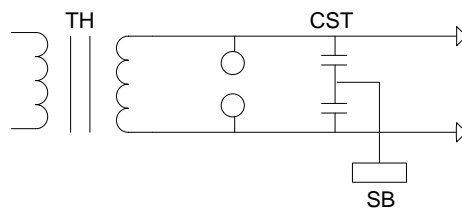
Gambar 3.5 Gelas Beaker

3.2.4 Modul Pembangkitan AC untuk Pengujian Tegangan Tembus

Gambar 3.6 dan Gambar 3.7 menunjukkan modul pembangkitan AC dan rangkaian dari modul pembangkitan AC. Modul pembangkitan AC tersebut terletak di Laboratorium Tegangan Tinggi Teknik Elektro ITS. Pembangkitan tegangan AC berasal dari generator atau sumber AC yang terhubung dengan transformator *step up*. Tujuan dari transformator *step up* ini adalah menaikkan tegangan agar didapatkan tegangan yang lebih tinggi daripada sumber. Pada output pengukuran terdapat kapasitor pembagi. Rangkaian pembagi kapasitor yang ditunjukkan oleh Gambar 3.8 terdiri dari dua buah kapasitor. Kedua kapasitor dapat diatur nilainya sehingga pada salah satu terminal kapasitor dapat diperoleh tegangan yang diinginkan. Hal tersebut ditunjukkan oleh Persamaan 3.1



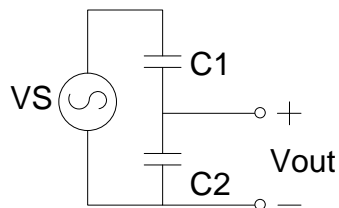
Gambar 3.6 Modul Pembangkitan AC



Gambar 3.7 Rangkaian Pembangkitan AC

Keterangan:

- TH : High Voltage Transformer, 80kV rms, 5kVA
- CST : Divider 80 kV rms, 400 kV impulse, 500pF
- SB : Control Box Type 273



Gambar 3.8 Rangkain Pembagi Kapasitor

$$V_{out} = V_{sx} \frac{X_{c2}}{X_{c1} + X_{c2}} \quad (3.1)$$

$$V_{out} = V_{sx} \frac{\frac{1}{C2}}{\frac{1}{C1} + \frac{1}{C2}}$$

$$V_{out} = V_{sx} \left(\frac{1}{C2} \times \frac{C1C2}{C1 + C2} \right)$$

$$V_{out} = V_s \frac{C1}{C1 + C2}$$

3.2.5 Alat Ukur Temperatur

Alat ukur yang digunakan adalah Fluke 62 *Infrared Thermometer* ditunjukkan oleh Gambar 3.9. Termometer ini dilengkapi oleh sinar infra merah sehingga untuk pengukuran suhu cukup ditembakkan sinar infra merah ke media yang ingin diukur suhunya. Pemakaian *infrared thermometer* (IR) ini efektif untuk mengukur suhu pada tempat yang sulit dijangkau, misalnya untuk menghindari kontak langsung dengan suhu oven yang tinggi. *Datasheet* dapat dilihat di Lampiran Q.



Gambar 3.9 Fluke 62 *Infrared Thermometer*

3.3 Pengondisian Sample Uji

Minyak Nynas Nitro Libra dibagi menjadi 16 sample dengan perincian sebagai berikut:

Sample kurva beban harian transformator

Pada sample kurva beban harian transformator, minyak transformator dibagi menjadi 4 buah gelas beaker masing-masing bervolume 500 ml dengan proses pemanasan selama 2 hari, 4 hari, 6 hari, dan 7 hari. Proses pemanasan dilakukan berdasarkan pemodelan kurva beban harian transformator.

Sample PV

Pada sample PV, minyak transformator dibagi menjadi 4 buah gelas beaker masing-masing bervolume 500 ml dengan proses pemanasan selama 2 hari, 4 hari, 6 hari, dan 7 hari. Proses pemanasan dilakukan berdasarkan pemodelan kurva beban harian transformator yang dipengaruhi oleh *photovoltaic* (PV).

Sample *charging station*

Pada sample *charging station*, minyak transformator dibagi menjadi 4 buah gelas beaker masing-masing bervolume 500 ml dengan proses pemanasan selama 2 hari, 4 hari, 6 hari, dan 7 hari. Proses pemanasan dilakukan berdasarkan pemodelan kurva beban harian transformator yang dipengaruhi oleh *charging station*.

Sample konstan

Pada sample konstan, minyak transformator dibagi menjadi 4 buah gelas beaker masing-masing bervolume 500 ml dengan proses pemanasan selama 2 hari, 4 hari, 6 hari, dan 7 hari. Proses pemanasan adalah konstan yakni 90°C.

3.4 Metode Uji DGA (Dissolve Gas Analysis) Sebelum Pemanasan

Pengujian DGA dilakukan di Laboratorium PT. Bambang Djaja Transformer. DGA merupakan pengujian untuk menganalisa kondisi transformator berdasarkan kandungan gas yang terlarut dalam minyak. Gas-gas terlarut berasal dari dekomposisi minyak, belitan, atau kertas isolasi transformator.

DGA dapat digunakan untuk deteksi kerusakan dini dari transformator. Gas terlarut yang muncul akan diestimasi untuk mengetahui penyebab kerusakan pada transformator. Proses pengujian gas terlarut mengacu pada standar ASTM 3612 dan IEC 60599-2007-05. Proses DGA terdiri dari beberapa tahap, penjelasan sebagai berikut:

1. Mempersiapkan alat dan bahan serta kalibrasi alat. Tujuan kalibrasi adalah memastikan akurasi dari alat ukur sehingga alat ukur yang digunakan menghasilkan pengukuran yang akurat
2. Pengambilan minyak menggunakan *syringe* yang ditunjukkan oleh Gambar 3.10. Tujuannya agar minyak yang diambil menjadi kedap udara. Volume sample minyak sebanyak 20 ml. *Syringe* dilengkapi dengan selang untuk memudahkan pengambilan minyak tranformator. Sebelumnya, *syringe* diisi dengan sedikit minyak lalu dikocok-kocok. Tujuan proses ini adalah untuk membersihkan *syringe* dari kontaminan lain. Setelah itu *syringe* diisi penuh untuk proses DGA.



Gambar 3.10 *Syringe*

3. Proses ketiga adalah mengeluarkan gas-gas kontaminan dari dalam *syringe*. Proses ini menggunakan *oil flushing unit* yang ditunjukkan oleh Gambar 3.11



Gambar 3.11 *Oil Flushing Unit*

4. Dilakukan pengocokan minyak dalam *syringe* menggunakan *syringe shaker* yang ditunjukkan oleh Gambar 3.12. Proses pengocokan dilakukan kurang lebih dua menit.



Gambar 3.12 Alat *Syringe Shaker*

5. Dilakukan proses pengeluaran gas gas dalam minyak kedua menggunakan *oil flusing unit* yang ditunjukkan oleh Gambar 3.11
6. Dilakukan pengujian DGA yang ditunjukkan oleh Gambar 3.13. Dipasang terlebih dahulu *oil trap* ditunjukkan oleh Gambar 3.14 yang bertujuan untuk mencegah minyak tidak masuk kedalam alat DGA.



Gambar 3.13 Alat Pengujian DGA bermerek MYRKOS



Gambar 3.14 *Oil Trap*

7. Run menggunakan program yang terhubung alat DGA. Tampilan program ditunjukkan oleh Gambar 3.15.



Gambar 3.15 Tampilan Program DGA

3.5 Pemanasan

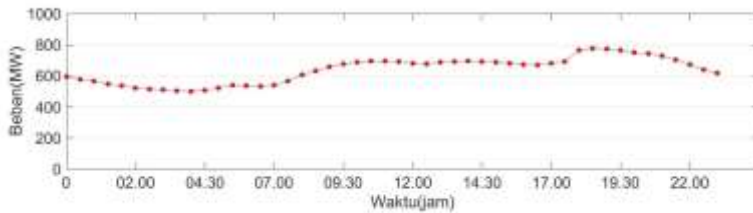
Pada Tugas Akhir ini dilakukan penelitian untuk meneliti pengaruh pola perubahan beban terhadap isolasi cair minyak transformator. Pola perubahan beban diasumsikan linier dengan nilai perubahan temperatur pada isolasi cair minyak transformator. Jika beban yang terhubung ke transformator semakin tinggi, maka temperature minyak transformator juga akan semakin tinggi.

Perubahan temperature pada minyak transformator dilakukan dengan oven. Perubahan temperature tersebut berdasarkan empat buah grafik yang meliputi grafik sample kurva beban harian transformator, grafik sample PV, grafik sample *charging station*, dan grafik sample konstan (*full load*).

3.5.1 Grafik Sample Kurva Beban Harian Tranformator

Berikut akan dijelaskan proses untuk mendapatkan grafik suhu untuk pengaturan suhu oven sample kurva beban harian transformator.

Gambar 3.16 adalah total kurva beban harian (seluruh gardu induk) pada subsistem Bali tanggal 20 Mei 2017. Grafik kurva beban harian tersebut merupakan total beban dari subsistem Bali yang didapatkan dari PLN APB BALI.



Gambar 3.16 Kurva Beban Harian

Dari Gambar 3.16 di atas, Tabel 3.1 menjabarkan nilai dari kurva beban harian sebagai berikut :

Tabel 3.1 Kurva Baban Harian

No	Jam (hours)	Realisasi Beban (MW)
1	00.30	576.4
2	01.00	565.4
3	01.30	547.7
4	02.00	535.2
5	02.30	522.6
6	03.00	516.1
7	03.30	509.5

Tabel lengkap dapat dilihat pada Lampiran A. Dari Tabel 3.1 dikonversikan ke prosentase beban dengan Persamaan 3.2. Proses pengubahan beban ke prosenstase beban merupakan perbandingan linier, dilakukan dengan mengasumsikan bahwa 1000 MW adalah 100% pembebanan.

$$\% \text{ Beban} = \frac{\text{Beban}(MW)}{1000} \times 100\% \quad (3.2)$$

$$\% \text{ Beban} = \frac{565.4}{1000} \times 100\%$$

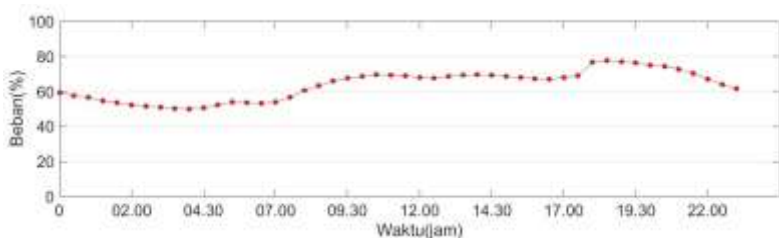
$$\% \text{ Beban} = 56.54\%$$

Tabel 3.2 menunjukkan hasil dari proses pengubahan beban (MW) ke dalam prosentase beban (%).

Tabel 3.2 Prosentase Beban Sample Kurva Beban Harian Transformator

No	Jam (hours)	Prosentase Beban (%)
1	00.30	57.64
2	01.00	56.54
3	01.30	54.77
4	02.00	53.52
5	02.30	52.26
6	03.00	51.61
7	03.30	50.95

Selengkapnya dilampirkan pada Lampiran B. Berikut grafiknya ditampilkan pada Gambar 3.17.



Gambar 3.17 Prosentase Beban Sample Kurva Beban Harian Transformator

Setelah didapatkan prosentase pembebanan, langkah selanjutnya adalah mencari nilai suhunya. Perbandingan antara pembebanan dan suhu dianggap linier dengan asumsi bahwa jika pembebanan 100% maka suhu operasi transformator berada pada suhu 90°C ditunjukkan oleh Persamaan 3.3. Berikut hasilnya ditampilkan pada Tabel 3.3.

$$Suhu = \frac{\% \text{Beban}}{100} \times 90 \quad (3.3)$$

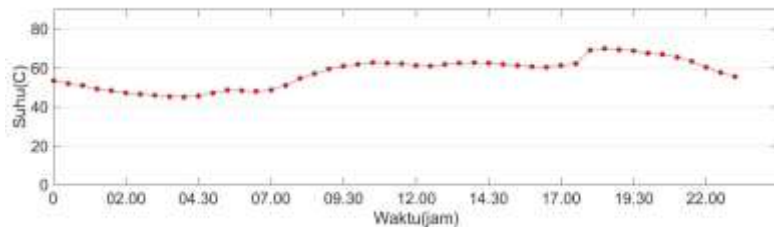
$$Suhu = \frac{56.54}{100} \times 90$$

$$Suhu = 50.886C$$

Tabel 3.3 Suhu *Real Sample* Kurva Beban Harian Transformator

No	Jam (hours)	Suhu (°C)
1	00.30	51.876
2	01.00	50.886
3	01.30	49.293
4	02.00	48.168
5	02.30	47.034
6	03.00	46.449
7	03.30	45.855

Selengkapnya dilampirkan pada Lampiran C. Berikut grafiknya ditampilkan pada Gambar 3.18.



Gambar 3.18 Suhu *Real Sample* Kurva Beban Harian Transformator

Oven yang digunakan pada penelitian Tugas Akhir ini adalah oven dengan pengatur suhu analog yang mempunyai *range* suhu tertentu. Karena keterbatasan kemampuan *range* oven dan agar suhu bervariasi tetapi tidak terlalu jauh mengubah grafik suhu yang sesungguhnya maka klasifikasi suhu dilakukan sebagai berikut, ditunjukkan oleh Tabel 3.4.

Tabel 3.4 Klasifikasi *Range* Suhu Oven

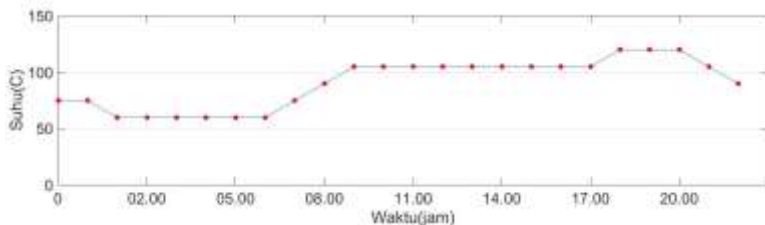
No	Rentang Suhu ($^{\circ}\text{C}$)	Suhu Oven ($^{\circ}\text{C}$)
1	41-45	45
2	46-50	60
3	51-55	75
4	56-60	90
5	61-65	105
6	66-70	120
7	71-75	135
8	76-80	150
9	81-85	165
10	86-90	180

Sehingga suhu untuk pengaturan oven didapatkan, dan ditunjukkan oleh Tabel 3.5

Tabel 3.5 Suhu Oven Sample Kurva Beban Harian Transformator

No	Jam (hours)	Suhu ($^{\circ}\text{C}$)
1	01.00	70
2	02.00	60
3	03.00	60
4	04.00	60
5	05.00	60
6	06.00	60
7	07.00	60

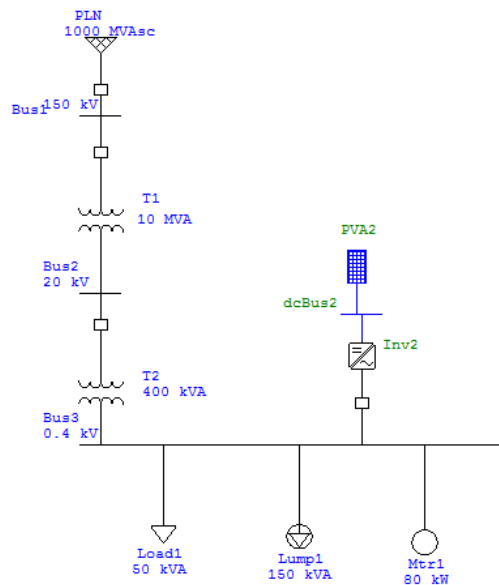
Selengkapnya dilampirkan dalam Lampiran D. Grafik ditunjukkan oleh Gambar 3.19:



Gambar 3.19 Suhu Oven Sample Kurva Beban Harian Transformator

3.5.2 Grafik Kurva Beban Harian Transformator karena terpengaruh PV

Gambar 3.20 menunjukkan salah satu contoh dari transformator yang mendapatkan pengaruh dari PV.



Gambar 3.20 Tranformator yang dipengaruhi PV

Selanjutnya akan dijelaskan proses untuk mendapatkan grafik suhu untuk pengaturan suhu oven sample PV. Berikut berturut-turut Tabel 3.6, Tabel 3.7, dan Tabel 3.8 menunjukkan nilai *supply* dari PV pada Laboratorium PSSL Teknik Elektro ITS-Surabaya pada tanggal 18,19, dan 22 November 2017.

Tabel 3.6 *Supply* PV Tanggal 18 November 2017

Waktu	18 November 2017		
	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (Watt)
06.00	32.67	0.3	9.801
07.00	32.86	1.19	39.1034
08.00	32.98	3.2	105.536
09.00	33.07	5.4	178.578
10.00	32.87	6.68	219.5716
11.00	35.279	4.15	146.4079
12.00	32.98	1.93	63.6514

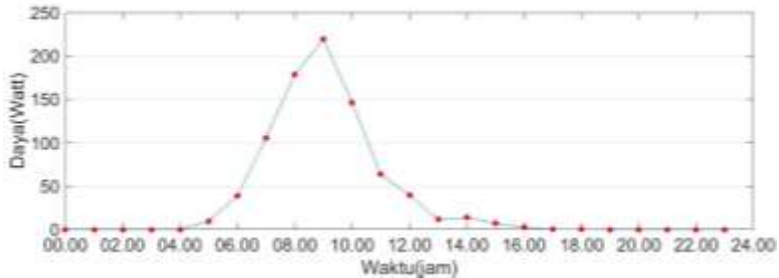
Tabel 3.7 *Supply* PV Tanggal 19 November 2017

Waktu	19 November 2017		
	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (Watt)
06.00	32.65	0.98	31.997
07.00	32.78	1.5	49.995
08.00	33.02	3.12	103.0224
09.00	33.33	4.46	148.6518
10.00	32.26	7.13	230.0138
11.00	35.2	3.19	112.288
12.00	34.29	1.57	53.8353

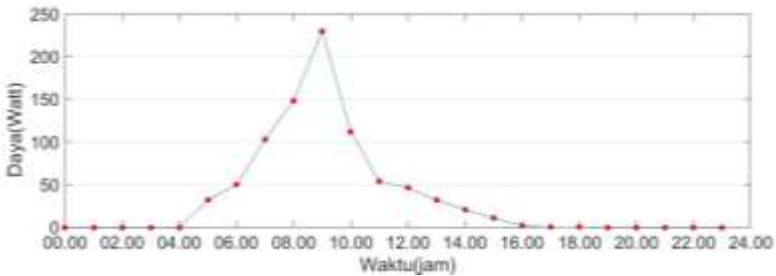
Tabel 3.8 *Supply* PV Tanggal 22 November 2017

Waktu	22 November 2017		
	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (Watt)
06.00	38.31	1.23	47.1213
07.00	40.8	1.67	68.136
08.00	40.13	2.31	92.7003
09.00	40.14	5.78	232.0092
10.00	40.29	7.37	296.9373
11.00	40.16	7.21	289.5536
12.00	39.97	5.29	211.4413

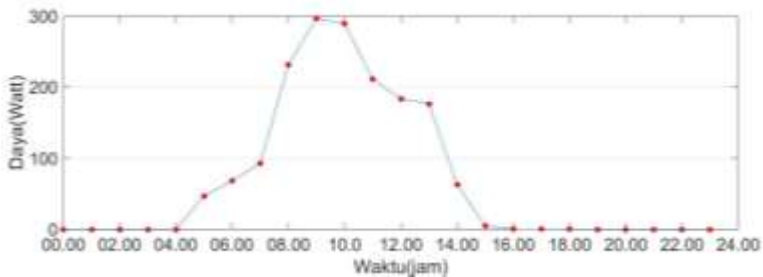
Tabel lengkapnya dapat dilihat pada Lampiran F. Grafik *supply* PV pada tanggal 18,19, dan 22 November 2017 berturut turut ditampilkan oleh Gambar 3.21, Gambar 3.22, dan Gambar 3.23.



Gambar 3.21 Supply PV 18 November 2017



Gambar 3.22 Supply PV 19 November 2017



Gambar 3.23 Supply PV 20 November 2017

Supply PV yang dipakai adalah *supply* PV pada tanggal 22 November 2017 dan dengan asumsi bahwa dalam suatu daerah terdapat sebanyak 1000 buah PV. Kemudian menggabungkan kurva beban transformator Tabel 3.1 dan *supply* PV dengan cara mengurangi kurva

beban harian transformator dengan *supply* PV yang ditunjukkan oleh Persamaan 3.4. Hasil perhitungan ditampilkan oleh Tabel 3.9.

$$BebanTotal = KurvaBebanTrafo - KurvaPV \quad (3.4)$$

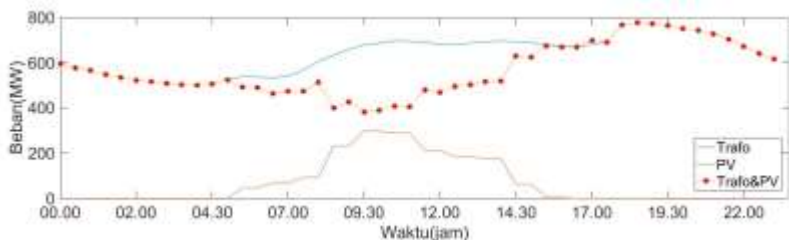
$$BebanTotal = 539.7 - 47.121$$

$$BebanTotal = 492.6MW$$

Tabel 3.9 Kurva Beban Transformator karena pengaruh PV

No	Jam (hours)	Transformator (MW)	PV (MW)	Trafo&PV (MW)
1	06.00	539.7	47.121	492.6
2	07.00	532.7	68.136	464.6
3	08.00	566.7	92.7	474
4	09.00	632.6	232.01	400.6
5	10.00	678.5	296.94	381.6
6	11.00	696.7	289.55	407.1
7	12.00	691.4	211.44	480

Tabel selengkapnya dapat dilihat pada Lampiran G. Grafik ditampilkan oleh Gambar 3.24 sebagai berikut:



Gambar 3.24 Kurva Beban Transformator karena pengaruh PV

Dari Tabel 3.9 diatas dikonversikan ke prosentase beban dengan Persamaan 3.2. Proses pengubahan beban ke prosenstase beban

merupakan perbandingan linier dilakukan dengan mengsumsikan bahwa 1000 MW adalah 100% pembebanan.

$$\% \text{Beban} = \frac{492.6}{1000} \times 100\%$$

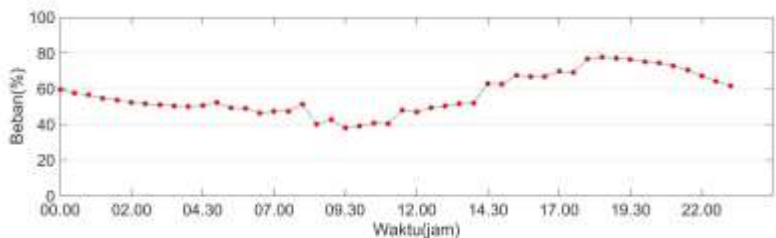
$$\% \text{Beban} = 49.26\%$$

Tabel 3.10 menunjukkan hasil dari proses pengubahan beban (MW) ke dalam prosentase beban (%).

Tabel 3.10 Prosentase Beban Sample PV

No	Jam (hours)	Prosentase Beban (%)
1	06.00	49.26
2	07.00	46.46
3	08.00	47.4
4	09.00	40.06
5	10.00	381.6
6	11.00	40.71
7	12.00	48.0

Selengkapnya dilampirkan pada Lampiran G. Grafiknya ditampilkan pada Gambar 3.25.



Gambar 3.25 Prosentase Beban Sample PV

Setelah didapatkan prosentase pembebanan, langkah selanjutnya adalah mencari nilai suhunya. Perbandingan antara pembebanan dan suhu dianggap linier dengan asumsi bahwa pembebanan 100% suhu

operasi transformator berada pada suhu 90°C ditunjukkan oleh Persamaan 3.3 . Berikut hasilnya ditampilkan pada Tabel 3.11.

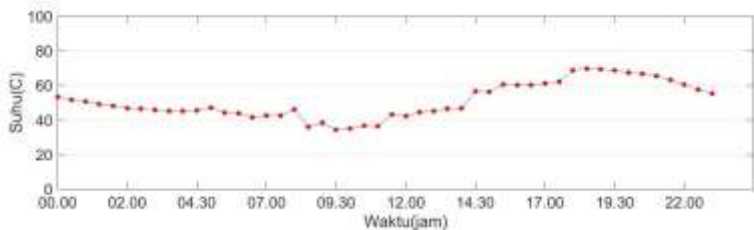
$$Suhu = \frac{49.26}{100} \times 90$$

$$Suhu = 44.322^{\circ}\text{C}$$

Tabel 3.11 Suhu *Real Sample* PV

No	Jam (hours)	Suhu ($^{\circ}\text{C}$)
1	06.00	44.332
2	07.00	41.811
3	08.00	42.66
4	09.00	36.053
5	10.00	34.341
6	11.00	36.643
7	12.00	43.196

Selengkapnya dilampirkan pada Lampiran H. Grafiknya ditampilkan pada Gambar 3.26.



Gambar 3.26 Suhu *Real Sample* PV

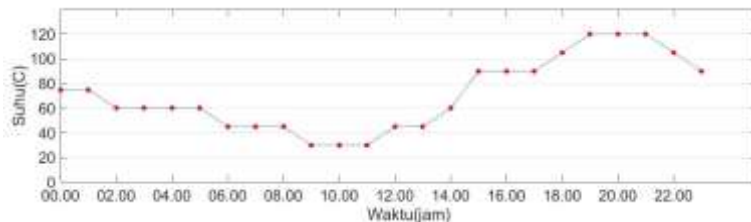
Oven yang digunakan pada penelitian Tugas Akhir ini adalah oven dengan pengatur suhu analog yang mempunyai *range* suhu tertentu. Karena keterbatasan kemampuan *range* oven dan agar suhu bervariasi tetapi tidak terlalu jauh mengubah grafik suhu yang sesungguhnya maka klasifikasi suhu dilakukan sebagai berikut, ditunjukkan oleh Tabel 3.4.

Sehingga suhu untuk pengaturan oven didapatkan, dan ditunjukkan oleh Tabel 3.12.

Tabel 3.12 Suhu Oven Sample PV

No	Jam (hours)	Suhu ($^{\circ}\text{C}$)
1	06.00	45
2	07.00	45
3	08.00	45
4	09.00	30
5	10.00	30
6	11.00	30
7	12.00	45

Selengkapnya dilampirkan dalam Lampiran I. Grafik ditunjukkan oleh Gambar 3.27



Gambar 3.27 Suhu Oven Sample PV

3.5.3 Grafik Kurva Beban Harian Transformator karena Pengaruh *Charging Station*

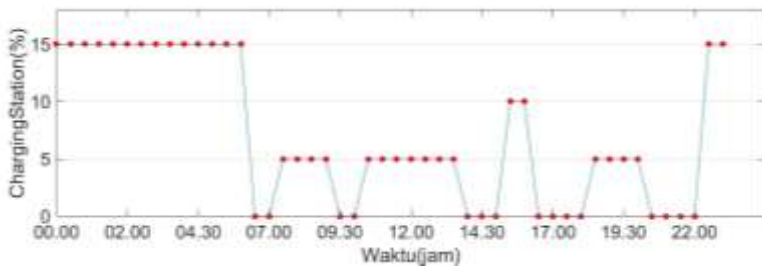
Berikut akan dijelaskan proses untuk mendapatkan grafik suhu untuk pengaturan suhu oven sample *charging station*. Sample mewakili kurva beban harian transformator karena pengaruh *charging station*.

Tabel 3.13 menunjukkan asumsi prosentase pembebanan dari suatu *charging station* yang terpasang pada transformator distriusi sebagai berikut:

Tabel 3.13 Prosentase Beban *Charging Station*

No	Jam (hours)	Prosentase Pembebanan <i>Charging Staion</i> (%)
1	06.00	35
2	07.00	0
3	08.00	5
4	09.00	5
5	10.00	0
6	11.00	30
7	12.00	30

Tabel lengkapnya dapat dilihat pada Lampiran J. Grafik prosentase pembebanan *charging station* ditampilkan oleh Gambar 3.28



Gambar 3.28 Prosentase Beban *Charging Station*

Kemudian menggabungkan kurva beban transformator Tabel 3.2 dan kurva beban *charging station* ditunjukkan oleh Tabel 3.13 dengan cara menambah kurva beban harian transformator dengan *charging station* yang ditunjukkan Persamaan 3.5. Hasilnya ditunjukkan oleh Tabel 3.14.

$$\text{BebanTotal} = \% \text{ KurvaBebanTrafo} + \% \text{ KurvaCS} \quad (3.5)$$

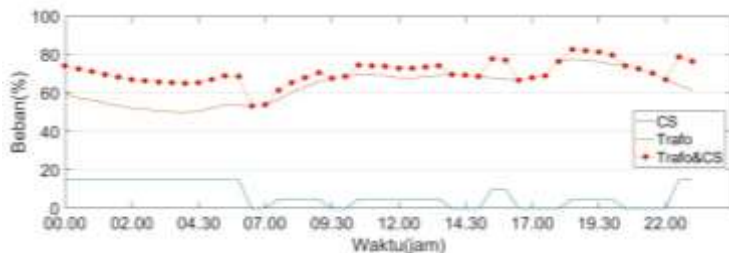
$$\text{BebanTotal} = 53.97 + 45$$

$$\text{BebanTotal} = 88.97 \text{ MW}$$

Tabel 3.14 Kurva Beban Transformator karena pengaruh *Charging Station*

No	Jam (hours)	Transformator (MW)	PV (MW)	Trafo&CS (MW)
1	06.00	53.97	45	88.97
2	07.00	53.27	0	53.27
3	08.00	56.67	15	61.67
4	09.00	63.26	15	68.28
5	10.00	67.85	0	67.85
6	11.00	69.67	40	99.67
7	12.00	69.14	40	999.14

Tabel lengkapnya dapat dilihat pada Lampiran K. Grafik dari Tabel 3.14 ditampilkan oleh Gambar 3.29 sebagai berikut:



Gambar 3.29 Kurva Beban Transformator karena Pengaruh CS

Setelah didapatkan prosentase pembebanan, langkah selanjutnya adalah mencari nilai suhunya. Perbandingan antara pembebanan dan suhu dianggap linier dengan asumsi bahwa pembebanan 100% suhu operasi transformator berada pada suhu 90°C ditunjukkan oleh Persamaan 3.3. Berikut hasilnya ditampilkan pada Tabel 3.15

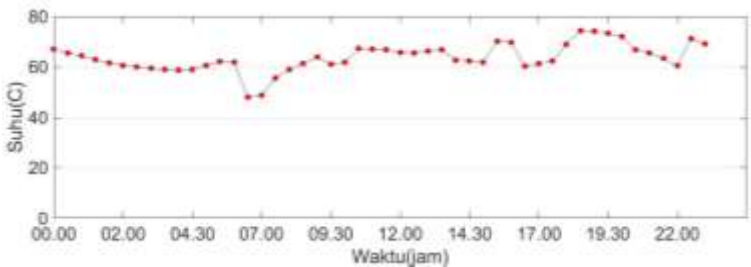
$$Suhu = \frac{88.97}{100} \times 90$$

$$Suhu = 80.073^{\circ}\text{C}$$

Tabel 3.15 Suhu *Real Sample Charging Station*

No	Jam (hours)	Suhu (°C)
1	06.00	80.073
2	07.00	47.943
3	08.00	55.503
4	09.00	61.434
5	10.00	61.065
6	11.00	89.703
7	12.00	89.226

Tabel 3.15 selengkapnya dilampirkan pada Lampiran L. Dari Tabel 3.15 berikut grafiknya ditampilkan pada Gambar 3.30.



Gambar 3.30 Suhu *Real Sample Charging Station*

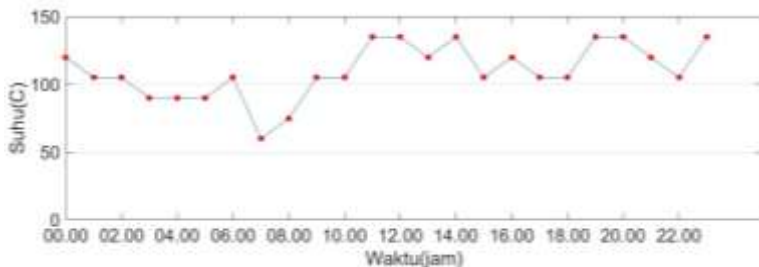
Oven yang digunakan pada penelitian Tugas Akhir ini adalah oven dengan pengatur suhu analog yang mempunyai *range* suhu tertentu. Karena keterbatasan kemampuan *range* oven dan agar suhu bervariasi tetapi tidak terlalu jauh mengubah grafik suhu yang sesungguhnya maka klasifikasi suhu dilakukan sebagai berikut, ditunjukkan oleh Tabel 3.4.

Sehingga suhu untuk pengaturan oven didapatkan, dan ditunjukkan oleh Tabel 3.16.

Tabel 3.16 Suhu Oven Sample *Charging Station*

No	Jam (hours)	Suhu ($^{\circ}\text{C}$)
1	06.00	150
2	07.00	60
3	08.00	75
4	09.00	105
5	10.00	105
6	11.00	180
7	12.00	180

Selengkapnya dilampirkan dalam Lampiran M. Grafik ditunjukkan oleh Gambar 3.31:



Gambar 3.31 Suhu Oven Sample *Charging Station*

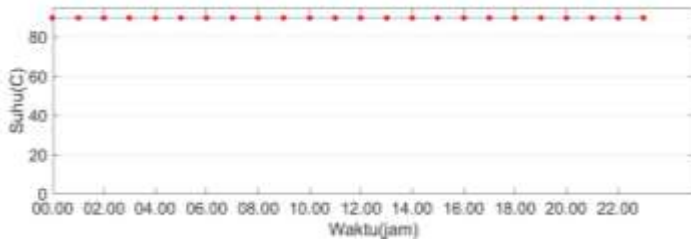
3.5.4 Grafik Kurva Beban Kondisi Konstan

Berikut akan dijelaskna proses untuk pengaturan suhu oven sample konstan. Sample konstan mewakili kurva beban transformator pada kondisi *full load*. Pada kondisi full load transformator mempunyai suhu 90°C . Tabel pemanasan ditunjukkan oleh Tabel 3.17.

Tabel 3.17 Pemanasan Suhu Konstan

No	Jam (hours)	Suhu ($^{\circ}\text{C}$)
1	06.00	90
2	07.00	90
3	08.00	90
4	09.00	90
5	10.00	90
6	11.00	90
7	12.00	90

Tabel lengkapnya dapat dilihat pada Lampiran N. Grafik pemanasan pada suhu konstan ditampilkan oleh Gambar 3.32.

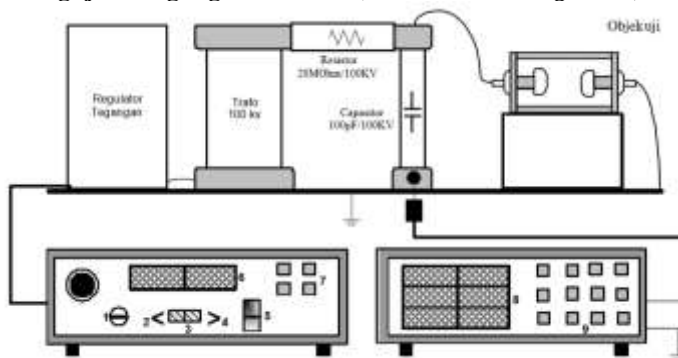


Gambar 3.32 Pemanasan Suhu Konstan

3.6 Pengamatan Visual untuk Karakteristik Fisik

Pengamatan karakteristik fisik dilakukan dengan mengamati secara visual sample minyak transformator. Pengamatan visual berupa perubahan warna dan endapan dari sample. Pengamatan ini dilakukan setelah minyak dikeluarkan dari oven dan dibiarkan minyak turun secara alami sampai temperature ruangan $\pm 25^{\circ}\text{C}$ dalam kurun waktu 3-5 jam.

3.7 Pengujian Tegangan Tembus (*Breadown Voltage Test*)



Gambar 3.33 Perangkat Pengujian Tegangan Tembus¹⁰

Perangkat pangujian tegangan tembus ditunjukkan oleh Gambar 3.33. Pengujian tegangan tembus adalah pengujian untuk mengetahui

berapa besarnya tegangan saat terjadi *breakdown* dari suatu isolasi. Isolasi yang dipakai pada Tugas Akhir ini adalah isolasi minyak mineral transformator Nynas Nitro Libra. Berikut penjabaran dari proses pengujian tegangan tembus.

Setelah proses pemanasan, minyak transformator diuji tegangan tembusnya. Sebelum dilakukan pengujian tegangan tembus, minyak transformator diturunkan suhunya secara alami hingga suhu ruangan 25°C.

Pengujian tegangan tembus dilakukan di Laboratorium Tegangan Tinggi Teknik Elektro ITS. Pada pengujian tegangan tembus terdapat beberapa parameter yang diterapkan. Parameter yang dimaksud ditunjukkan oleh Tabel 3.18.

Tujuan pengujian tegangan tembus ini untuk mengetahui seberapa besar tegangan tembus dari 16 sample dengan berbagai pola dan lama pemanasan yang berbeda. Hasil yang diperoleh diamati dan ditarik suatu kesimpulan.

Pengujian tegangan tembus ini menggunakan standar IEC 60125. Berdasarkan IEC 60125 elektrode yang dipakai berbentuk *mushroom* dengan jarak sela 2.5 mm. Kenaikan tegangan setiap stepnya adalah 2kV. Tegangan dinaikkan terus-menerus hingga terjadi kilatan listrik antara kedua elektrode. Pengujian tegangan tembus dilakukan sebanyak 5 kali. Setelah dilakukan 5 kali pengambilan data, hasilnya dirata-rata dan ditunjukkan oleh Persamaan 3.6.

Tabel 3.18 Parameter Pengujian Tegangan Tembus

No	Parameter	Keterangan
1	Jenis Minyak	Nynas Nitro Libra
2	Volume	500 ml
3	Standart	IEC 60125
4	Bentuk elektrode	Mushroom shape
5	Jarak sela	2.5 mm
6	Tegangan maksimum	100kV AC
7	Kenaikan tegangan	2 volt
8	Perulangan pengujian	5 kali
9	Interval waktu antar pengujian	1 menit
10	Jenis pembangkitan	Pembangkitan AC

$$Rata - rataBDV = \frac{data1 + data2 + + data5}{5} \quad (3.6)$$

3.8 Metode Uji DGA Setelah Pemanasan

Proses DGA sama persis seperti yang ditunjukkan sub bab 3.3. Perbedaannya adalah metode uji DGA yang kedua dilakukan setelah proses pemanasan. Dari hasil yang diperoleh, diestimasi pengaruh proses pemanasan terhadap minyak.

-----Halaman ini sengaja dikosongkan-----

BAB IV

HASIL PENGUJIAN DAN ANALISA

Bab ini membahas tentang hasil analisa karakteristik fisik minyak, hasil pengujian tegangan tembus, dan hasil pengujian DGA (*Dissolved Gas Analysis*) sample kurva beban harian transformator, sample PV, sample *charging station*, dan sample 4 konstan.

4.1 Hasil Pengamatan Karakteristik Fisik

Minyak Nynas Nitro Libra adalah jenis minyak mineral yang sering dipakai di transformator distribusi PLN. Minyak Nynas Nitro Libra tersebut didapatkan dari PT. Bambang Djaja Rungkut Surabaya. Berdasarkan IEC 60296 warna minyak Nynas Nitro Libra yang baru adalah bening sedikit kekuningan. Arti dari warna bening kekuningan ini adalah minyak Nynas masih dalam kondisi baik dan tidak terdapat endapan sama sekali. Salah satu aspek bahwa minyak telah mengalami kerusakan adalah perubahan warna fisik minyak mulai menguning hingga kecoklatan dan terdapat endapan. Jika hal ini terjadi maka perlu diwaspadai munculnya kontaminan yang pada akhirnya mempengaruhi kekuatan isolasi minyak transformator.

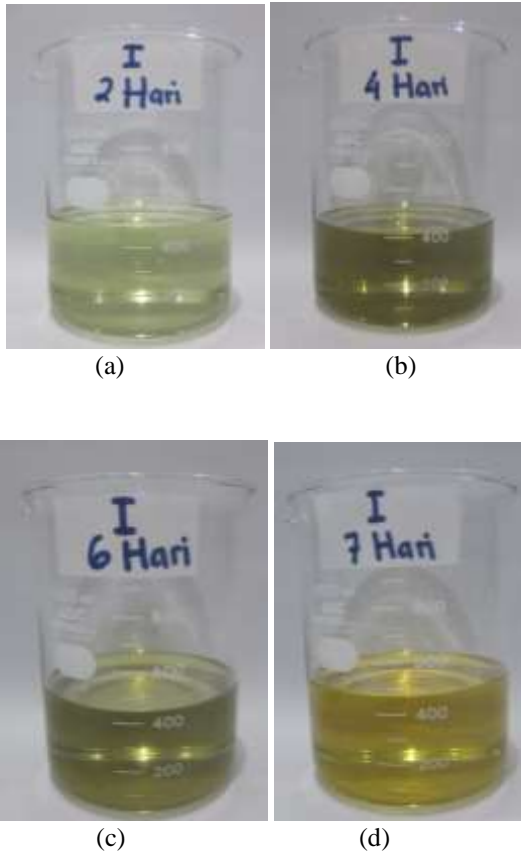
Minyak transformator dipanasi dalam sebuah oven sesuai dengan grafik pemanasan. Minyak Nynas tersebut dipanasi dengan durasi 2 hari, 4 hari, 6 hari, dan 7 hari. Tujuan dari pemanasan ini adalah pemodelan percepatan penuaan minyak secara thermal, hasilnya untuk mengetahui kekuatan isolasi dari minyak transformator.

Setelah dilakukan pemanasan, minyak transformator diamati perubahan warnanya. Hasil dari pengamatan tersebut dibandingkan dan ditarik suatu kesimpulan.

4.1.1 Karakteristik Fisik Minyak Transformator Sample Kurva Beban Harian Transformator

Sample kurva beban harian transformator didapatkan dari transformator distribusi 150/20kV PLN Bali pada tanggal 7 Maret 2017. Kurva percepatan pemanasan berdasarkan Gambar 3.19.

Gambar 4.1 menunjukkan tampilan warna fisik dari sample kurva beban harian transformator.



Gambar 4.1 Karakteristik Fisik Sample Kurva Beban Harian Transformator Pemanasan (a) 2 hari, (b) 4 hari, (c) 6 hari, dan (d) 7 hari

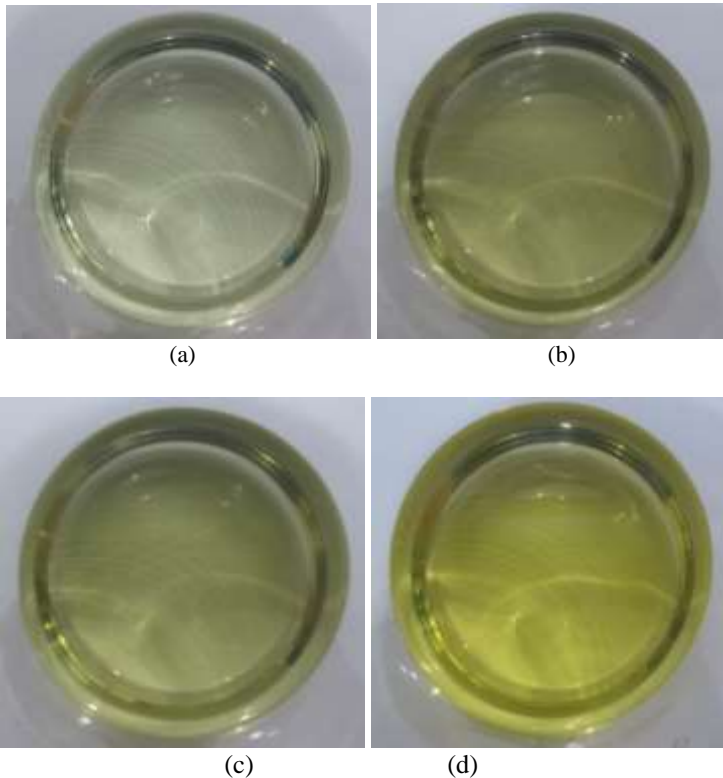
Berturut-turut warna karakteristik warna fisik minyak pada pemanasan 2 hari, 4 hari, 6 hari, dan 7 hari adalah putih pucat, kuning pucat, kuning pucat, dan kuning terang. Deskripsi warna karakteristik

fisik sample kurva beban harian transformator diringkas dalam Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Karakteristik Warna Fisik Sample Kurva Beban Harian Transformator

No	Durasi	Warna
1	2 hari	Putih pucat
2	4 hari	Kuning pucat
3	6 hari	Kuning pucat
4	7 hari	Kuning terang

Keadaan endapam pada minyak pemanasan 2 hari, 4 hari, 6 hari, dan 7 hari adalah tidak ada. Berikut hasilnya ditunjukkan oleh Gambar 4.2 dan Tabel 4.2



Gambar 4.2 Endapan Sample Kurva Beban Harian Transformator Pemanasan (a) 2 hari, (b) 4 hari, (c) 6 hari, dan (d) 7 hari.

Tabel 4.2 Endapan Sample Kurva Beban Harian Transformator

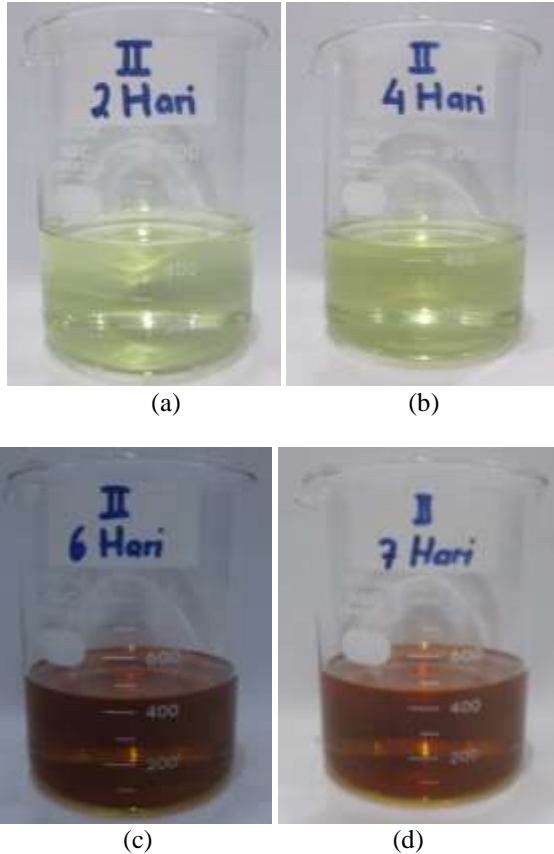
No	Durasi	Endapan
1	2 hari	Tidak ada
2	4 hari	Tidak ada
3	6 hari	Tidak ada
4	7 hari	Tidak ada

Pada pemanasan 2 hari ke 4 hari terlihat perubahan warna dari putih pucat menjadi kuning. Dari pemanasan 4 hari ke 6 hari tidak terlihat perubahan warna yang signifikan yakni tetap berwarna kuning pucat. Pada pemanasan 6 hari ke 7 hari terjadi perubahan warna dari kuning pucat menjadi kuning terang. Dari perubahan warna fisik tersebut maka diketahui bahwa semakin lama durasi pemanasan maka pemburukan minyak transformator semakin tinggi.

Karakteristik fisik juga diidentifikasi dari munculnya endapan pada dasar gelas beaker setiap sample. Pada pemanasan 2 hari tidak terdapat endapan. Pada pemanasan 4 hari tidak terdapat endapan. Pada pemanasan 6 hari tidak terdapat endapan. Pada pemanasan 7 hari tidak terdapat endapan. Dari pernyataan-pernyataan tersebut maka pola pemanasan berdasarkan kurva beban harian transformator tidak menghasilkan endapan sama sekali.

4.1.2 Karakteristik Fisik Minyak Transformator Sample PV

Berikut akan dijelaskan hasil pengamatan karakteristik fisik dari sample PV. Pengamatan karakteristik fisik meliputi pengamatan perubahan warna serta endapan pada setiap sample. Sample PV adalah pemodelan kurva beban harian transformator yang terkena pengaruh PV. Kurva percepatan pemanasan berdasarkan Gambar 3.27 . Gambar 4.3 menunjukkan tampilan warna fisik dari sample PV.



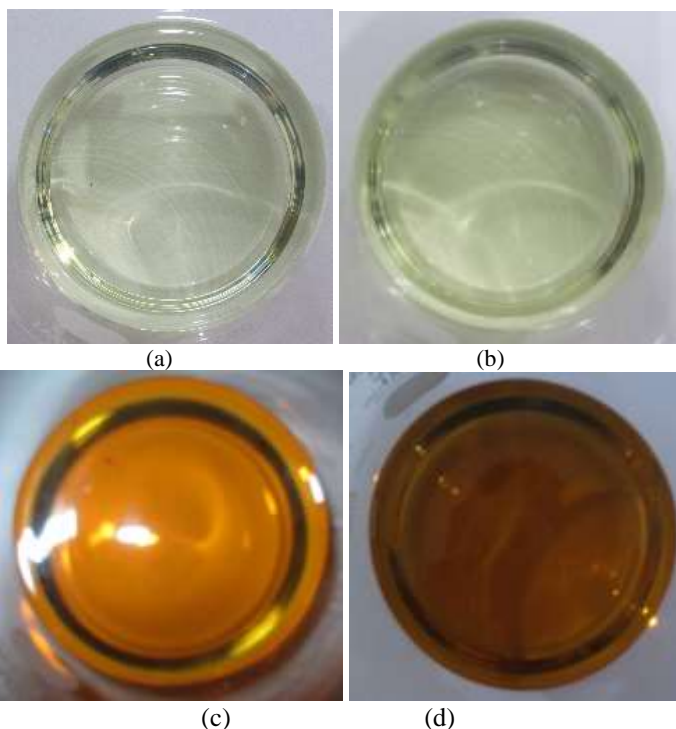
Gambar 4.3 Karakteristik Fisik Sample PV Pemanasan (a) 2 hari, (b) 4 hari, (c) 6 hari, dan (d) 7 hari

Berturut-turut warna karakteristik fisik minyak pada pemanasan 2 hari, 4 hari, 6 hari, dan 7 hari adalah putih pucat, kuning pucat, coklat dan coklat. Deskripsi warna karakteristik fisik sample PV diringkas dalam Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Karakteristik Fisik Sample PV

No	Durasi	Warna
1	2 hari	Putih pucat
2	4 hari	Kuning pucat
3	6 hari	Coklat
4	7 hari	Coklat

Keadaan endapam pada minyak pemanasan 2 hari, 4 hari, 6 hari, dan 7 hari adalah tidak ada. Berikut hasilnya ditunjukkan oleh Gambar 4.5 dan Tabel 4.4.



Gambar 4.4 Endapan Sample PV Pemanasan (a) 2 hari, (b) 4 hari, (c) 6 hari, (d) 7 hari

Tabel 4.4 Endapan Sample PV

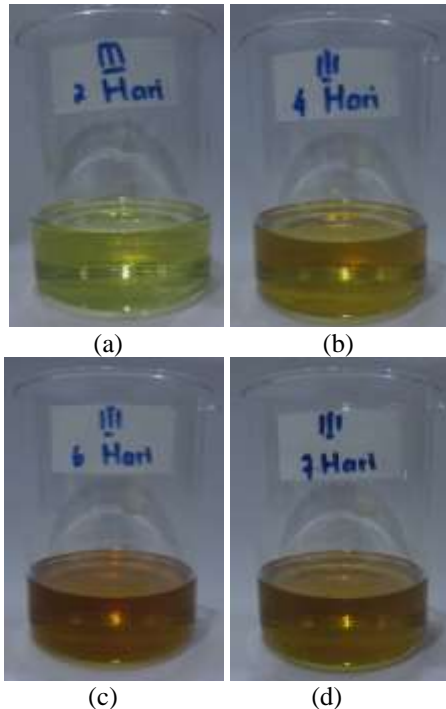
No	Durasi	Endapan
1	2 hari	Tidak ada
2	4 hari	Tidak ada
3	6 hari	Tidak ada
4	7 hari	Tidak ada

Pada pemanasan 2 hari ke 4 hari terlihat perubahan warna yang yakni putih pucat menjadi kuning pucat. Dari pemanasan 4 hari ke 6 hari terlihat perubahan warna yakni dari kuning pucat menjadi coklat. Pada pemanasan 6 hari ke 7 hari tidak terjadi perubahan warna yakni tetap berwarna coklat. Dari perubahan warna fisik tersebut maka diketahui bahwa semakin lama durasi pemanasan maka pemburukan minyak transformator semakin tinggi ditandai dengan perubahan warna minyak semakin terlihat yakni dari putih pucat, kuning pucat, hingga menjadi coklat. Pemanasan 2 hari, 4 hari, 6 hari, dan 7 hari tidak tampak endapan pada gelas beaker.

Membandingkan sample kurva beban harian transformator dengan sample PV pada durasi pemanasan yang sama misalnya pada durasi pemanasan 6 hari. Pada durasi pemanasan 6 hari sample kurva beban harian transformator berwarna kuning pucat. Sedangkan pada durasi pemanasan yang sama pemanasan 6 hari sample PV berwarna coklat. Dari data tersebut diketahui bahwa dengan pola perubahan temperatur yang lebih ekstrim (sample PV) membuat kerusakan minyak transformator menjadi lebih cepat.

4.1.3 Karakteristik Fisik Minyak Transformator Sample *Charging Station*

Karakteristik fisik ketiga yang akan dibahas adalah karakterisitk fisik sample *charging station*. Sample *charging station* adalah pemodelan kurva beban harian transformator yang terkena pengaruh *charging station*. Kurva percepatan pemanasan berdasarkan Gambar 3.31. Gambar 4.5 menunjukkan tampilan warna fisik dari sample *charging station*.



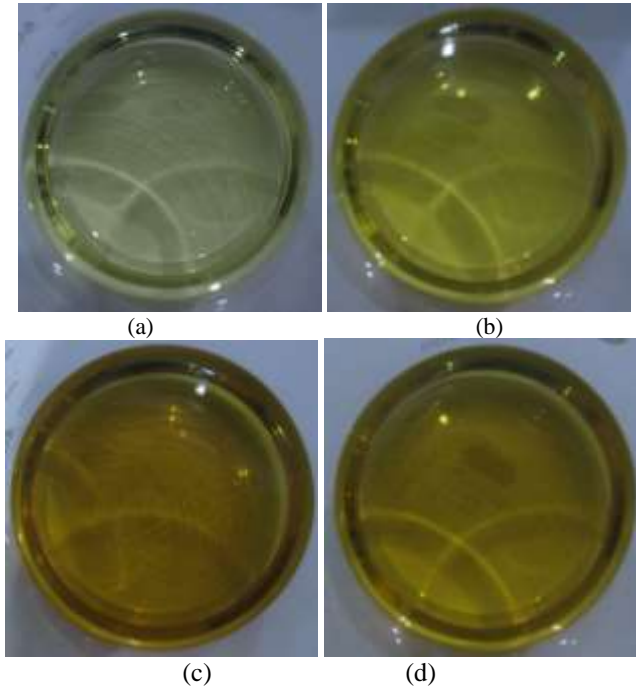
Gambar 4.5 Karakteristik Fisik Sample *Charging Station* (a) 2 hari, (b) 4 hari (c) 6 hari, dan (d) 7 hari

Berturut-turut warna karakteristik fisik minyak pada pemanasan 2 hari, 4 hari, 6 hari, dan 7 hari adalah kuning pucat, kuning terang, coklat dan coklat. Deskripsi warna karakterisitk fisik sample *charging station* diringkas dalam Tabel 4.5 .

Tabel 4.5 Karakteristik Fisik Sample *charging station*

No	Durasi	Warna
1	2 hari	Kuning pucat
2	4 hari	Kuning Terang
3	6 hari	Coklat
4	7 hari	Coklat

Keadaan endapan pada minyak pemanasan 2 hari, 4 hari, 6 hari, dan 7 hari adalah tidak ada. Berikut hasilnya ditunjukkan oleh Gambar 4.6 dan Tabel 4.6.



Gambar 4.6 Endapan Sample *Charging Station* Pemanasan (a) 2 hari, (b) 4 hari, (c) 6 hari, dan (d) 7 hari

Tabel 4.6 Endapan Sample *Charging Station*

No	Durasi	Endapan
1	2 hari	Tidak ada
2	4 hari	Tidak ada
3	6 hari	Tidak ada
4	7 hari	Tidak ada

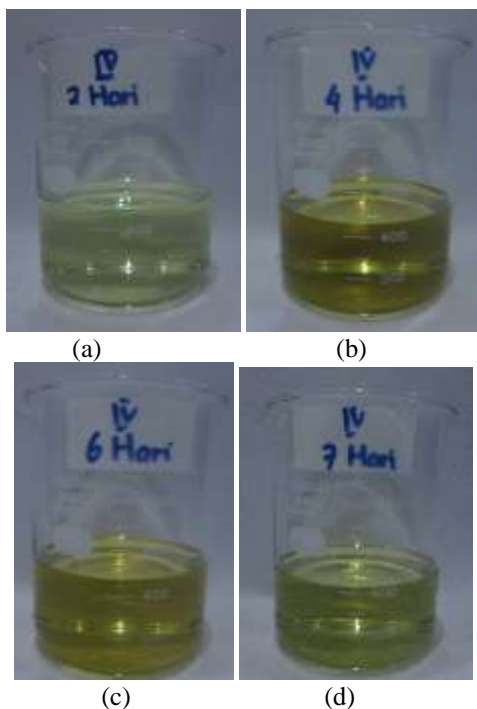
Pada pemanasan 2 hari ke 4 hari terlihat perubahan warna yakni kuning pucat menjadi kuning terang. Dari pemanasan 4 hari ke 6 hari terlihat perubahan warna yakni dari kuning terang menjadi coklat. Pada pemanasan 6 hari ke 7 hari tidak terjadi perubahan warna yakni tetap berwarna coklat. Dari perubahan warna fisik tersebut maka diketahui bahwa semakin lama durasi pemanasan maka pemburukan minyak transformator semakin tinggi ditandai dengan perubahan warna minyak semakin terlihat yakni dari kuning pucat, kuning terang, hingga menjadi coklat. Pemanasan 2 hari, 4 hari, 6 hari, dan 7 hari tidak tampak endapan pada gelas beaker.

Membandingkan sample kurva beban harian transformator dengan sample *charging station* pada durasi pemanasan yang sama misalnya pada durasi pemanasan 6 hari. Pada durasi pemanasan 6 hari sample kurva beban harian transformator berwarna kuning pucat. Sedangkan pada durasi pemanasan yang sama pemanasan 6 hari sample *charging station* berwarna coklat. Dari data tersebut diketahui bahwa dengan pola perubahan temperatur yang lebih ekstrim (sample *charging station*) membuat kerusakan minyak transformator menjadi lebih cepat.

Membandingkan sample PV dengan sample *charging station* pada durasi pemanasan yang sama yakni pada durasi pemanasan 6 hari. Pada durasi pemanasan 6 hari sample PV berwarna coklat. Pada durasi pemanasan yang sama pemanasan 6 hari sample *charging station* juga berwarna coklat. Dari data tersebut diketahui bahwa dengan pola perubahan temperatur yang lebih ekstrim (sample *charging station* dan sample PV) membuat kerusakan minyak transformator menjadi lebih cepat.

4.1.4 Karakteristik Fisik Minyak Transformator Sample Konstan

Sample konstan adalah pemodelan kurva beban harian transformator distribusi 150/20kV PLN Bali pada tanggal 7 Maret 2017 pada kondisi konstan dengan suhu 90⁰C. Kurva percepatan pemanasan berdasarkan Gambar 3.32. Gambar 4.7 menunjukkan tampilan warna fisik dari sample konstan.



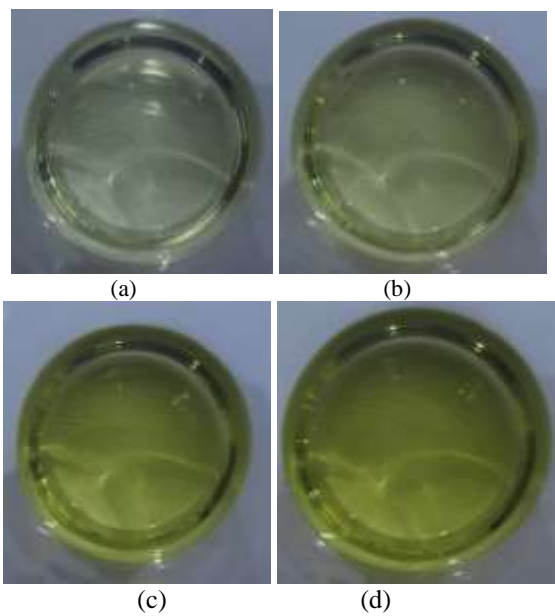
Gambar 4.7 Karakteristik Fisik Sample Konstan (a) 2 hari, (b) 4 hari, (c) 6 hari, dan (d) 7 hari

Berturut-turut warna karakteristik fisik minyak pada pemanasan 2 hari, 4 hari, 6 hari, dan 7 hari adalah putih pucat, kuning pucat, kuning pucat, dan kuning pucat. Deskripsi warna karakteristik fisik sample konstan diringkas dalam Tabel 4.7.

Tabel 4.7 Karakteristik Fisik Sample konstan

No	Durasi	Warna
1	2 hari	Putih pucat
2	4 hari	Kuning pucat
3	6 hari	Kuning pucat
4	7 hari	Kuning pucat

Keadaan endapan pada minyak pemanasan 2 hari, 4 hari, 6 hari, 7 hari adalah tidak ada. Berikut hasilnya ditunjukkan oleh Gambar 4.8 dan Tabel 4.8.



Gambar 4.8 Endapan Sample Konstan (a) 2 hari, (b) 4 hari, (c) 6 hari, dan (d) 7 hari

Tabel 4.8 Endapan Sample Konstan

No	Durasi	Endapan
1	2 hari	Tidak ada
2	4 hari	Tidak ada
3	6 hari	Tidak ada
4	7 hari	Tidak ada

Pada pemanasan 2 hari ke 4 hari terlihat perubahan warna yakni putih pucat menjadi kuning pucat. Dari pemanasan 4 hari ke 6 hari tidak terlihat perubahan yang signifikan yakni tetap berwarna kuning pucat. Dari pemanasan 6 hari ke 7 hari juga tidak terlihat perubahan yang signifikan yakni tetap berwarna kuning pucat. Dari perubahan warna

fisik tersebut maka diketahui bahwa semakin lama durasi pemanasan maka pemburukan minyak transformator semakin tinggi ditandai dengan perubahan warna minyak semakin terlihat yakni dari putih pucat hingga menjadi kuning pucat. Pemanasan 2 hari, 4 hari, 6 hari, dan 7 hari tidak tampak endapan pada gelas beaker.

Membandingkan sample kurva beban harian transformator, sample PV, sample *charging station* dan sample konstan pada durasi pemanasan yang sama yakni pada durasi pemanasan 6 hari. Pada durasi pemanasan 6 hari sample kurva beban harian transformator berwarna kuning pucat. Sedangkan pada durasi pemanasan 6 hari sample PV berwarna coklat. Durasi pemanasan 6 hari sample *charging station* berwarna coklat. Dan pada durasi pemanasan 6 hari sample konstan berwarna kuning pucat. Dari data tersebut diketahui bahwa pola temperature konstan menghasilkan pemburukan minyak transformator paling rendah.

4.1.5 Hasil perbandingan



Gambar 4.9 Perbandingan Karakteristik Fisik Sample Kurva Beban Harian Transformator



Gambar 4.10 Perbandingan Karakteristik Fisik Sample PV



Gambar 4.11 Perbandingan Karakteristik Fisik Sample *Charging Station*



Gambar 4.12 Perbandingan Karakteristik Fisik Sample Konstan

Menurut [2] kenaikan suhu akan mempercepat kerusakan minyak isolasi transformator. Kerusakan yang terjadi ditandai oleh perubahan warna minyak yang semakin coklat.

Gambar 4.9, Gambar 4.10, Gambar 4.11 dan Gambar 4.12 menunjukkan perbandingan warna sample kurva beban harian transformator, sample PV, sample *charging station*, dan sample konstan setelah proses pemanasan. Pada hari ketujuh sample kurva beban harian transformator berwarna kuning terang. Pada hari ketujuh sample PV berwarna coklat. Pada hari ketujuh sample *charging station* berwarna coklat. Hal ini menunjukkan bahwa jika pola temperatur berubah-ubah baik yang ekstrim atau tidak, maka akan mempercepat kerusakan minyak yang ditandai dengan perubahan warna minyak dari kuning hingga coklat.

Pada pemanasan 7 hari sample konstan menunjukkan warna kuning pucat, yang tidak terlalu berbeda dengan warna minyak pada pemanasan 2 hari, 4 hari, 6 hari. Hal ini menunjukkan bahwa dengan pola yang konstan kerusakan yang disebabkan tidak terlalu tinggi.

Sehingga dapat disimpulkan bahwa pola temperatur konstan (sample konstan) memberikan kerusakan paling rendah. Kerusakan paling tinggi terjadi pada sample PV dan *charging station* karena perubahan temperatur yang ekstrim hingga membuat minyak berwarna coklat.

4.2 Hasil Pengujian *Breakdown Voltage*

Minyak isolasi mempunyai kapasitas kemampuan tertentu untuk menahan tegangan tinggi yang melaluinya. Jika pada tegangan tertentu minyak isolasi tidak mampu lagi membendung tegangan yang melintas maka minyak transformator tersebut dikatakan mengalami tegangan tembus (*breakdown voltage*). Fenomena tegangan tembus karena kegagalan minyak transformator menjadi penting karena akan mempengaruhi kesinambungan penyaluran listrik dalam jaringan listrik.

Pengujian tegangan tembus dilakukan di Laboratorium Tegangan Tinggi. Pengujian tegangan tembus dilakukan sebagai 16 kali yakni sample kurva beban harian transformator sebanyak 4 buah, sample PV sebanyak 4 buah, sample *charging station* sebanyak 4 buah, dan sample konstan sebanyak 4 buah dengan hasil sebagai berikut:

4.2.1 Hasil Pengujian Tegangan Tembus Sample Kurva Beban Harian Transformator

Tabel 4.9 menunjukkan hasil pengujian tegangan tembus sample kurva beban harian transformator.

Tabel 4.9 Tegangan Tembus Sample Kurva Beban Harian Transformator

No	Tegangan Tembus			
	2 hari	4 hari	6 hari	7 hari
1	2	8	6	8
2	2	7	7	8
3	4	6.5	8	8
4	4	6	7	10
5	4	6	7	10
Rata-rata	3.2	6.7	7	8.8

Berdasarkan Persamaan 3.6, data dari Tabel 4.9 mempunyai nilai rata-rata pada pengujian pemanasan 2 hari sebagai berikut:

$$Rata - rataBDV = \frac{2 + 2 + 4 + 4 + 4}{5}$$

$$Rata - rataBDV = 3.2$$

Berdasarkan Persamaan 3.6, data dari Tabel **4.9** mempunyai nilai rata-rata pada pengujian pemanasan 4 hari sebagai berikut:

$$Rata - rataBDV = \frac{8 + 7 + 6.5 + 6 + 6}{5}$$

$$Rata - rataBDV = 6.7$$

Berdasarkan Persamaan 3.6, data dari Tabel **4.9** mempunyai nilai rata-rata pada pengujian pemanasan 6 hari sebagai berikut:

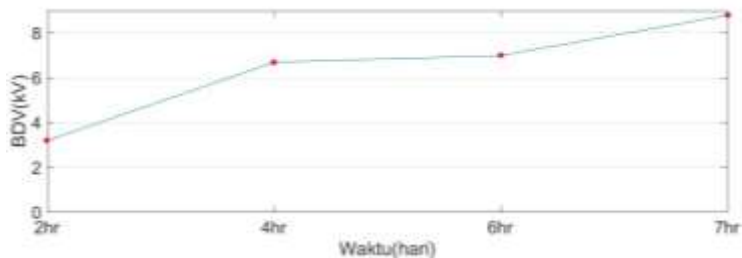
$$Rata - rataBDV = \frac{6 + 7 + 8 + 7 + 7}{5}$$

$$Rata - rataBDV = 7$$

Berdasarkan Persamaan 3.6, data dari Tabel **4.9** mempunyai nilai rata-rata pada pengujian pemanasan 7 hari sebagai berikut:

$$Rata - rataBDV = \frac{8 + 8 + 8 + 10 + 10}{5}$$

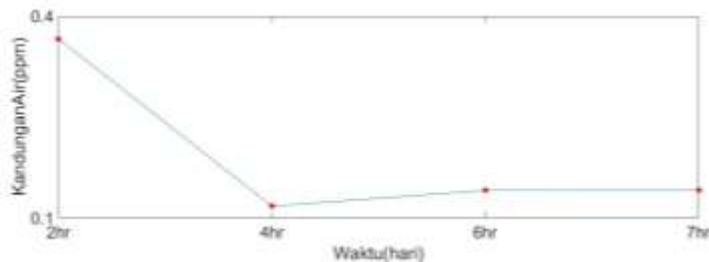
$$Rata - rataBDV = 8.8$$



Gambar 4.13 Tegangan Tembus Sample Kurva Beban Harian Transformator

Nilai rata-rata tegangan tembus pemanasan 2 hari adalah 3.2 kV. Pada pemanasan 4 hari, nilai rata-rata tegangan tembus naik menjadi 6.7 kV. Pemanasan 6 hari, nilai rata-rata juga naik menjadi 7 kV. Pemanasan terakhir yakni 7 hari tegangan rata-rata sebesar 8.8 kV.

Nilai tegangan tembus dari pemanasan 2 hari hingga 7 hari mengalami kenaikan karena kandungan air. Semakin lama proses pemanasan maka kandungan air dalam minyak semakin berkurang. Gambar 4.14 menunjukkan kandungan air sample kurva beban harian transformator pada pemanasan 2 hari sebesar 0.366%, pemanasan 4 hari sebesar 0.1173%, pemanasan 6 hari sebesar 0.1411%, dan pemanasan 7 hari sebesar 0.1410%.



Gambar 4.14 Kandungan Air Sample Kurva Beban Harian Transformator

Pada saat tegangan diinjeksikan, maka molekul air yang bercampur dengan minyak memisah dan terpolarisasi membentuk dipole. Jika jumlah molekul air ini banyak, maka akan terbentuk suatu jembatan serat yang menghubungkan antara kedua elektrode.

Jembatan serat ini membentuk kanal peluahan yang merambat hingga listrik tembus [7].

Dengan lama pemanasan yang singkat yakni 2 hari, jumlah uap air yang terlarut tinggi sehingga proses pembentukan jembatan serat semakin mudah, oleh karena itu tegangan listrik yang tembus paling rendah yakni 3.2 kV.

Dengan lama pemanasan yang lama yakni 7 hari, jumlah uap air yang terlarut rendah sehingga proses pembentukan jembatan serat semakin sulit, oleh karena itu tegangan listrik yang tembus paling tinggi yakni 8.8 kV.

4.2.2 Hasil Pengujian Tegangan Tembus Sample PV

Grafik Tabel 4.10 menunjukkan hasil pengujian tegangan tembus sample PV. Gambar 4.15 menunjukkan grafik dari tabel.

Tabel 4.10 Tegangan Tembus Sample PV

No	Tegangan Tembus			
	2 hari	4 hari	6 hari	7 hari
1	23.67	15.01	19.84	17.56
2	7.48	13.1	16.09	26.9
3	5.26	16.44	22.67	28.3
4	14.08	28.01	20.01	27.6
5	7.5	22.5	17.27	22.38
Rata-rata	15.588	19.012	19.176	24.548

Berdasarkan Persamaan 3.6, data dari Tabel 4.10 mempunyai nilai rata-rata pada pengujian pemanasan 2 hari sebagai berikut:

$$Rata - rataBDV = \frac{23.67 + 7.48 + 5.26 + 14.08 + 7.5}{5}$$

$$Rata - rataBDV = 15.588$$

Berdasarkan Persamaan 3.6, data dari Tabel 4.10 mempunyai nilai rata-rata pada pengujian pemanasan 4 hari sebagai berikut:

$$Rata - rataBDV = \frac{15.01 + 13.1 + 16.44 + 28.01 + 22.5}{5}$$

$$Rata - rataBDV = 19.012$$

Berdasarkan Persamaan 3.6, data dari Tabel **4.10** mempunyai nilai rata-rata pada pengujian pemanasan 6 hari sebagai berikut:

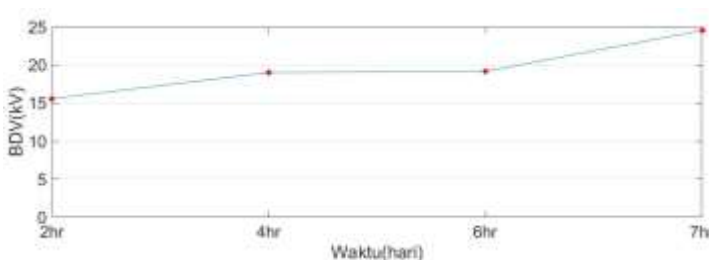
$$\text{Rata} - \text{rataBDV} = \frac{19.84 + 16.09 + 22.67 + 20.01 + 17.27}{5}$$

$$\text{Rata} - \text{rataBDV} = 19.176$$

Berdasarkan Persamaan 3.6, data dari Tabel **4.10** mempunyai nilai rata-rata pada pengujian pemanasan 7 hari sebagai berikut:

$$\text{Rata} - \text{rataBDV} = \frac{17.56 + 26.9 + 28.3 + 27.6 + 22.38}{5}$$

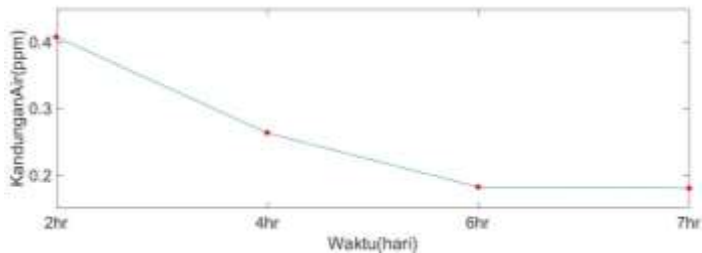
$$\text{Rata} - \text{rataBDV} = 24.548$$



Gambar 4.15 Tegangan Tembus Sample PV

Nilai rata-rata tegangan tembus pemanasan 2 hari adalah 15.588 kV. Pada pemanasan 4 hari, nilai rata-rata tegangan tembus naik menjadi 19.012 kV. Pemanasan 6 hari, nilai rata-rata juga naik menjadi 19.176 kV. Pemanasan terakhir yakni 7 hari tegangan rata-rata sebesar 24.548 kV.

Nilai tegangan tembus dari pemanasan 2 hari hingga 7 hari mengalami kenaikan karena kandungan air. Semakin lama proses pemanasan maka kandungan air dalam minyak semakin berkurang. Gambar **4.16** menunjukkan kandungan air sample PV pada pemanasan 2 hari sebesar 0.4078%, pemanasan 4 hari sebesar 0.2633%, pemanasan 6 hari sebesar 0.1822%, dan pemanasan 7 hari sebesar 0.1801%.



Gambar 4.16 Kandungan Air Sample PV

Pada saat tegangan diinjeksikan, maka molekul air yang bercampur dengan minyak memisah dan terpolarisasi membentuk dipole. Jika jumlah molekul air ini banyak, maka akan terbentuk suatu jembatan serat yang menghubungkan antara kedua elektrode. Jembatan serat ini membentuk kanal peluahan yang merambat hingga listrik tembus [7].

Dengan lama pemanasan yang singkat yakni 2 hari, jumlah uap air yang terlarut tinggi sehingga proses pembentukan jembatan serat semakin mudah, oleh karena itu tegangan listrik yang tembus paling rendah yakni 15.588 kV.

Dengan lama pemanasan yang lama yakni 7 hari, jumlah uap air yang terlarut rendah sehingga proses pembentukan jembatan serat semakin sulit, oleh karena itu tegangan listrik yang tembus paling tinggi yakni 24.548 kV.

Sample PV memiliki nilai tegangan tembus lebih tinggi daripada sample kurva beban harian transformator. Pada lama pemanasan yang sama yakni 2 hari pemanasan, sample kurva beban harian transformator bernilai 3.2 kV sedangkan sample PV bernilai lebih tinggi yaitu 15.58 kV. Pada lama pemanasan 4 hari, sample kurva beban harian transformator bernilai 6.7 kV sedangkan sample PV bernilai lebih tinggi yaitu 19.012 kV. Pada lama pemanasan 6 hari, sample kurva beban harian transformator bernilai 7 kV sedangkan sample PV bernilai lebih tinggi yaitu 19.176 kV. Pada lama pemanasan 7 hari, sample kurva beban harian transformator bernilai 8.8 kV sedangkan sample PV bernilai lebih tinggi yaitu 24.548 kV.

Saat pola pembebanan berubah, komponen belitan primer HV transformator akan mengalami tekanan termal, mekanik, dan elektris yang berbeda. Jika pola perubahan beban semakin tinggi

maka tekanan termal, mekanik, dan listrik juga semakin tinggi. Hal ini memicu penuaan struktur kima dari minyak. Penuaan struktur kimia menyebabkan karbonasi dan penambahan kandungan air yang berpengaruh terhadap minyak transformator. Jika temperatur semakin tinggi maka akan mempercepat berbagai degradasi struktur kimia yang selanjutnya akan menurunkan tegangan tembus minyak transformator [9].

Sample PV memiliki rata-rata perubahan temperature lebih rendah dibandingkan sample kurva beban harian transformator. Hal ini membuat tegangan tembus sample PV lebih tinggi daripada sample kurva beban harian transformator.

4.2.3 Hasil Pengujian Tegangn Tembus Sample *Charging Station*

Tabel 4.11 menunjukkan hasil pengujian tegangan tembus sample *charging station*. Gambar 4.17 menunjukkan grafik dari tabel.

Tabel 4.11 Tegangan Tembus Sample *Charging Station*

No	Tegangan Tembus			
	2 hari	4 hari	6 hari	7 hari
1	7.8	7.09	16.1	28
2	5.2	10.8	15.6	30.08
3	9.5	9.7	12.6	28.27
4	4.7	11.2	21.1	29.02
5	4.6	13.2	20.5	29.1
Rata-rata	6.36	10.398	17.18	28.894

Berdasarkan Persamaan 3.6, data dari Tabel 4.11 mempunyai nilai rata-rata pada pengujian pemanasan 2 hari sebagai berikut:

$$Rata - rataBDV = \frac{7.8 + 5.2 + 9.5 + 4.7 + 4.6}{5}$$

$$Rata - rataBDV = 6.36$$

Berdasarkan Persamaan 3.6, data dari Tabel 4.11 mempunyai nilai rata-rata pada pengujian pemanasan 4 hari sebagai berikut:

$$Rata - rataBDV = \frac{7.09 + 10.8 + 9.7 + 11.2 + 13.2}{5}$$

$$Rata - rataBDV = 10.398$$

Berdasarkan Persamaan 3.6, data dari Tabel **4.11** mempunyai nilai rata-rata pada pengujian pemanasan 6 hari sebagai berikut:

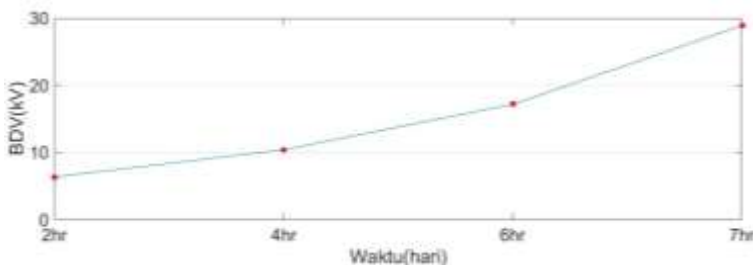
$$Rata - rataBDV = \frac{16.1 + 15.6 + 12.6 + 21.1 + 20.5}{5}$$

$$Rata - rataBDV = 17.18$$

Berdasarkan Persamaan 3.6, data dari Tabel **4.11** mempunyai nilai rata-rata pada pengujian pemanasan 7 hari sebagai berikut:

$$Rata - rataBDV = \frac{28 + 30.08 + 28.27 + 29.02 + 29.1}{5}$$

$$Rata - rataBDV = 28.894$$

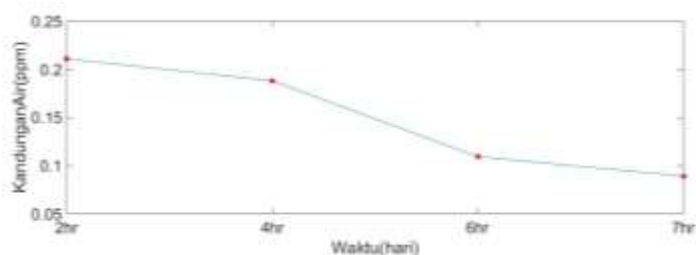


Gambar 4.17 Tegangan Tembus Sample Charging Station

Nilai rata-rata tegangan tembus pemanasan 2 hari adalah 6.36 kV. Pada pemanasan 4 hari, nilai rata-rata tegangan tembus naik menjadi 10.398 kV. Pemanasan 6 hari, nilai rata-rata juga naik menjadi 17.18

kV. Pemanasan terakhir yakni 7 hari tegangan rata-rata sebesar 28.894 kV.

Nilai tegangan tembus dari pemanasan 2 hari hingga 7 hari mengalami kenaikan karena kandungan air. Semakin lama proses pemanasan maka kandungan air dalam minyak semakin berkurang. Gambar 4.18 menunjukkan kandungan air sample *charging station* pada pemanasan 2 hari sebesar 0.2109%, pemanasan 4 hari sebesar 0.1881%, pemanasan 6 hari sebesar 0.1093%, dan pemanasan 7 hari sebesar 0.0892%.



Gambar 4.18 Kandungan Air Sample *Charging Station*

Pada saat tegangan diinjeksikan, maka molekul air yang bercampur dengan minyak memisah dan terpolarisasi membentuk dipole. Jika jumlah molekul air ini banyak, maka akan terbentuk suatu jembatan serat yang menghubungkan antara kedua elektrode. Jembatan serat ini membentuk kanal peluahan yang merambat hingga listrik tembus [7].

Dengan lama pemanasan yang singkat yakni 2 hari, jumlah uap air yang terlarut tinggi sehingga proses pembentukan jembatan serat semakin mudah, oleh karena itu tegangan listrik yang tembus paling rendah yakni 6.36 kV.

Dengan lama pemanasan yang lama yakni 7 hari, jumlah uap air yang terlarut rendah sehingga proses pembentukan jembatan serat semakin sulit, oleh karena itu tegangan listrik yang tembus paling tinggi yakni 28.894 kV.

Membandingkan sample PV dengan sample *charging station*. Sample PV memiliki nilai tegangan tembus lebih tinggi daripada sample *charging station* pada pemanasan 2 hari, 4 hari, dan 6 hari. Pada lama pemanasan yang sama yakni 2 hari pemanasan, sample *charging station* bernilai 6.36 kV sedangkan sample PV bernilai lebih tinggi yaitu 15.58

kV. Pada lama pemanasan yang sama yakni 4 hari pemanasan, sample *charging station* bernilai 10.398 kV sedangkan sample PV bernilai lebih tinggi yaitu 19.012 kV. Pada lama pemanasan yang sama yakni 6 hari pemanasan, sample *charging station* bernilai 17.18 kV sedangkan sample 2 bernilai lebih tinggi yaitu 19.176 kV.

Saat pola pembebanan berubah, komponen belitan primer HV transformator akan mengalami tekanan termal, mekanik, dan listrik yang berbeda. Jika pola perubahan beban semakin tinggi maka tekanan termal, mekanik, dan listrik juga semakin tinggi. Hal ini memicu penuaan struktur kima dari minyak. Penuaan struktur kimia menyebabkan karbonasi dan penambahan kandungan air yang berpengaruh terhadap minyak transformator. Jika temperatur semakin tinggi maka akan mempercepat berbagai degradasi struktur kimia yang selanjutnya akan menurunkan tegangan tembus minyak transformator [9].

Sample PV memiliki rata-rata perubahan temperatur lebih rendah dibandingkan sample *charging station*. Hal ini membuat tegangan tembus sample PV lebih tinggi daripada sample *charging station*.

Namun terjadi anomali pada lama pemanasan 7 hari, sample *charging station* bernilai 28.894 kV sedangkan sample PV bernilai lebih rendah yaitu 24.548 kV. Hal tersebut terjadi karena sample PV pemanasan 7 hari mempunyai kadar air terlalu tinggi dan terpapar udara bebas lebih banyak saat pemindahan sample ke botol setelah proses pemanasan.

Membandingkan sample *charging station* dengan sample kurva beban harian transformator. Pada lama pemanasan yang sama yakni 2 hari pemanasan, sample kurva beban harian transformator bernilai 3.2 kV sedangkan sample *charging station* bernilai lebih tinggi yaitu 6.36 kV. Pada lama pemanasan 4 hari, sample kurva beban harian transformator bernilai 6.7 kV sedangkan sample *charging station* bernilai lebih tinggi yaitu 10.398 kV. Pada lama pemanasan 6 hari, sample kurva beban harian transformator bernilai 7 kV sedangkan sample *charging station* bernilai lebih tinggi yaitu 17.18 kV. Pada lama pemanasan 7 hari, sample kurva beban harian transformator bernilai 8.8 kV sedangkan sample *charging station* bernilai lebih tinggi yaitu 28.894 kV.

Sample *charging station* memiliki nilai *breakdown voltage* lebih tinggi daripada sample kurva beban harian transformator padahal rata-rata temperatur sample *charging station* lebih tinggi daripada sample kurva beban harian transformator. Hal tersebut terjadi karena sample

kurva beban harian transformator mengandung kadar air yang lebih tinggi dan terlalu banyak terpapar udara pada saat pemindahan sample ke botol setelah proses pemanasan sehingga sample kurva beban harian transformator mempunyai tegangan tembus yang lebih rendah.

4.2.4 Hasil Pengujian Tegangan Tembus Sample Konstan

Tabel 4.12 menunjukkan hasil pengujian tegangan tembus sample konstan. Gambar 4.19 menunjukkan grafik dari tabel.

Tabel 4.12 Tegangan Tembus Sample Konstan

No	Tegangan Tembus			
	2 hari	4 hari	6 hari	7 hari
1	5.56	13.4	29.5	38.2
2	12.6	27.1	22.3	39.87
3	9.96	24.7	22.4	35.4
4	9.14	33.3	27.18	33.67
5	9.7	29.9	23.6	33.4
Rata-rata	9.392	25.68	24.996	36.108

Berdasarkan Persamaan 3.6, data dari Tabel 4.12 mempunyai nilai rata-rata pada pengujian pemanasan 2 hari sebagai berikut:

$$Rata - rataBDV = \frac{5.56 + 12.6 + 9.96 + 9.14 + 9.7}{5}$$

$$Rata - rataBDV = 9.392$$

Berdasarkan Persamaan 3.6, data dari Tabel 4.12 mempunyai nilai rata-rata pada pengujian pemanasan 4 hari sebagai berikut:

$$Rata - rataBDV = \frac{13.4 + 27.1 + 24.7 + 33.3 + 29.9}{5}$$

$$Rata - rataBDV = 25.68$$

Berdasarkan Persamaan 3.6, data dari Tabel 4.12 mempunyai nilai rata-rata pada pengujian pemanasan 6 hari sebagai berikut:

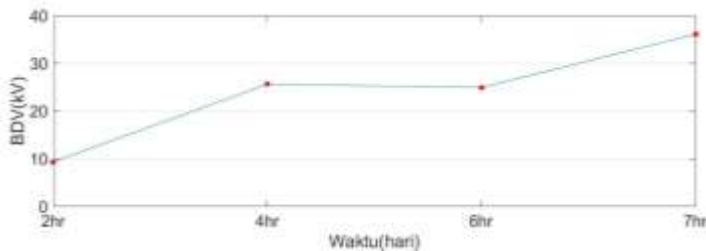
$$\text{Rata - rataBDV} = \frac{29.5 + 22.3 + 22.4 + 27.18 + 23.6}{5}$$

$$\text{Rata - rataBDV} = 24.996$$

Berdasarkan Persamaan 3.6, data dari Tabel 4.12 mempunyai nilai rata-rata pada pengujian pemanasan 7 hari sebagai berikut:

$$\text{Rata - rataBDV} = \frac{38.2 + 39.87 + 35.4 + 33.67 + 33.4}{5}$$

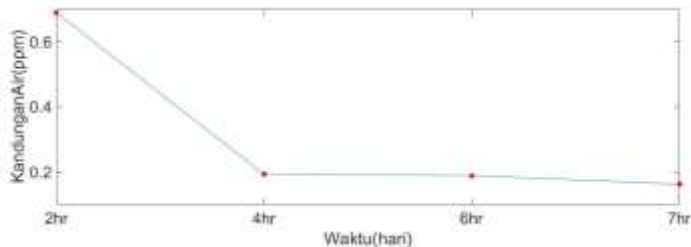
$$\text{Rata - rataBDV} = 36.108$$



Gambar 4.19 Tegangan Tembus Sample Konstan

Nilai rata-rata tegangan tembus pemanasan 2 hari adalah 9.392 kV. Pada pemanasan 4 hari, nilai rata-rata tegangan tembus naik menjadi 25.68 kV. Pemanasan 6 hari, nilai rata-rata turun menjadi 24.996 kV. Pemanasan 7 hari tegangan rata-rata sebesar 36.108 kV.

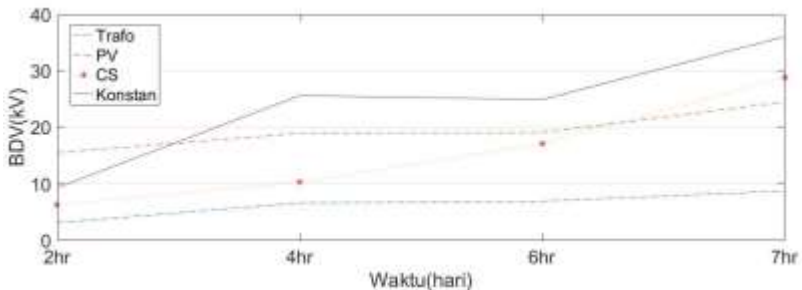
Penurunan terjadi pada periode waktu pemanasan 4 hari ke periode waktu pemanasan 6 hari. Penurunan terjadi karena sample pada pemanasan 6 hari memiliki kandungan air lebih tinggi dan terpapar udara lebih banyak saat pemindahan sample ke botol setelah proses pemanasan. Gambar 4.20 menunjukkan kandungan air sample konstan pada pemanasan 2 hari sebesar 0.69%, pemanasan 4 hari sebesar 0.1925%, pemanasan 6 hari sebesar 0.1888%, dan pemanasan 7 hari sebesar 0.1623%.



Gambar 4.20 Kandungan Air Sample Konstan

Sample konstan mempunyai nilai tegangan tembus lebih tinggi daripada sample kurav beban harian transformator, sample PV, dan sample *charging station*. Hal ini membuktikan bahwa dengan pola pemanasan konstan (temperatur konstan) memberikan nilai tegangan tembus yang lebih tinggi.

4.2.5 Hasil perbandingan



Gambar 4.21 Grafik Tegangan Tembus Total

Hasil perbandingan menunjukkan sample konstan mempunyai nilai tegangan tembus lebih tinggi daripada sample kurva beban harian transformator, sample PV, dan sample *charging station*. Hal ini membuktikan bahwa dengan pola pemanasan konstan (temperatur konstan) memberikan nilai tegangan tembus yang lebih tinggi.

Pola pemanasan (temperatur) yang berubah akan mempengaruhi struktur kimia dalam minyak. Jika temperatur semakin tinggi maka degradasi struktur kimia minyak juga semakin tinggi. Degradasi yang tinggi ini membuat nilai tegangan tembus menurun.

Namun terjadi anomali pada pemanasan 2 hari dimana nilai tegangan sample PV 15.588kV bernilai lebih tinggi dibandingkan nilai

tegangan tembus sample konstan 9.392 kV. Hal ini terjadi karena sample konstan pemanasan 2 hari memiliki kandungan air lebih tinggi dan terpapar udara lebih banyak saat pemindahan minyak dari oven ke botol. Hal tersebut membuat tegangan tembus sample konstan pemanasan 2 hari lebih rendah.

Membandingkan sample kurva beban harian transformator dengan sample PV. Sample PV memiliki pola perubahan temperatur lebih rendah dibandingkan sample kurva beban harian taransformator. Hal tersebut membuat nilai tegangan tembus sample PV lebih tinggi daripada sample kurva beban harian transformator.

Membandingkan sample kurva beban harian transformator dengan sample *charging station*. Sample kurva beban harian transformator memiliki pola perubahan temperatur lebih rendah dibandingkan sample *charging station*. Namun sample kurva beban harian transformator memiliki tegangan tembus lebih rendah daripada sample *charging station*. Hal tersebut dikarenakan sample kurva beban harian transformator mempunyai kandungan air yang lebih tinggi dan lebih banyak terpapar udara. Alasan lain yang menyebabkan hal tersebut adalah tutup botol tidak tertutup secara rapat. Hal tersebut yang membuat sample kurva beban harian transformator mempunyai nilai tegangan tembus yang lebih rendah.

Membandingkan sample PV dengan sample *charging station*. Sample PV memiliki pola perubahan temperatur lebih rendah dibandingkan sample *charging station*. Hal tersebut membuat nilai tegangan tembus sample PV lebih tinggi daripada sample *charging station*.

4.3 Hasil Pengujian DGA

Pengujian DGA dilakukan dua kali, yakni sebelum proses pemanasan dan setelah dilakukan pemanasan. Sample yang diuji menggunakan pengujian DGA adalah sample kurva beban harian transformator pemanasan 7 hari, sample PV pemanasan 7 hari, sample *charging station* pemanasan 7 hari, dan sample konstan pemanasan 7 hari.

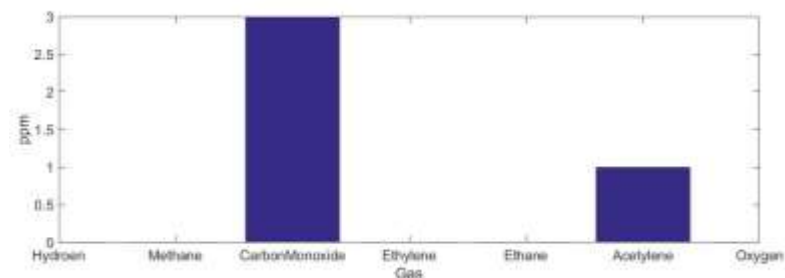
4.3.1 Pengujian DGA sebelum proses pemanasan

Pengujian DGA dilakukan sebelum proses pemanasan pada minyak mineral berjenis Nynas Nitro Libra. Hasil dari pengujian DGA tersebut ditunjukkan oleh Tabel 4.13:

Tabel 4.13 Kandungan Gas Terlarut Nynas Sebelum Pemanasan

Komponen Gas	Nilai Gas(ppm)	Kondisi
H ₂ (<i>Hydrogen</i>)	0 ppm	1
CH ₄ (<i>Methane</i>)	0 ppm	1
CO (<i>Carbon Monoxide</i>)	3 ppm	1
CO ₂ (<i>Carbon Dioxide</i>)	510 ppm	-
C ₂ H ₄ (<i>Ethylene</i>)	0 ppm	1
C ₂ H ₆ (<i>Ethane</i>)	0 ppm	1
C ₂ H ₂ (<i>Acetylene</i>)	1 ppm	1
O ₂ (<i>Oxygen</i>)	0 ppm	1
N ₂ (<i>Nitrogen</i>)	0 ppm	-
TDCG	4 ppm	1

Berdasarkan Tabel 4.13 kandungan gas terlarut adalah CO sebesar 3 ppm dan C₂H₂ sebesar 1 ppm. Grafiknya ditunjukkan oleh Gambar 4.22 Sehingga nilai TDCG didapatkan sebesar:



Gambar 4.22 Kandungan Gas Terlarut Nynas Sebelum Pemanasan

$$TDCG = H_2 + CH_4 + CO + C_2H_4 + C_2H_6 + C_2H_2 + O_2$$

$$TDCG = 0 + 0 + 3 + 0 + 0 + 0 + 1 + 0$$

$$TDCG = 4 \text{ ppm}$$

Berdasarkan Tabel 4.13 Nilai TDCG minyak baru Nynas Nitro Libra sebesar 4 ppm dan termasuk dalam kategori kondisi 1 yakni minyak berada pada kondisi normal. Pada kondisi normal ini, minyak harus selalu dipantau untuk menghindari jika terdapat penambahan-penambahan dari gas atau kontaminan yang tidak diinginkan.

4.3.2 Pengujian DGA setelah proses pemanasan

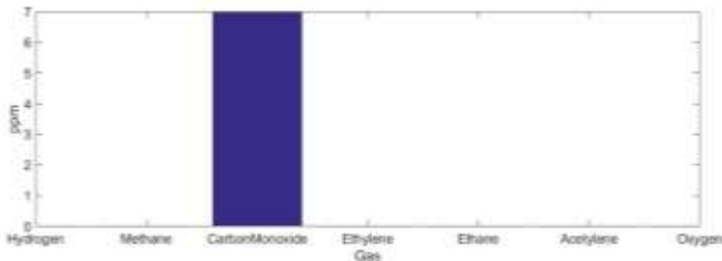
d. Sample Kurva Beban Harian Transformator

Pengujian DGA dilakukan setelah proses pemanasan pada minyak mineral berjenis Nynas Nitro Libra. Hasil dari pengujian DGA tersebut ditunjukkan oleh Tabel 4.14:

Tabel 4.14 Kandungan Gas Terlarut Sample Kurva Beban Harian Transformator

Komponen Gas	Nilai Gas(ppm)	Kondisi
H ₂ (<i>Hydrogen</i>)	0 ppm	1
CH ₄ (<i>Methane</i>)	0 ppm	1
CO (<i>Carbon Monoxide</i>)	7 ppm	1
CO ₂ (<i>Carbon Dioxide</i>)	1855 ppm	-
C ₂ H ₄ (<i>Ethylene</i>)	0 ppm	1
C ₂ H ₆ (<i>Ethane</i>)	0 ppm	1
C ₂ H ₂ (<i>Acetylene</i>)	0 ppm	1
O ₂ (<i>Oxygen</i>)	0 ppm	1
N ₂ (<i>Nitrogen</i>)	0 ppm	-
TDCG	7 ppm	1

Berdasarkan Tabel 4.14 kandungan gas terlarut adalah CO sebesar 7 ppm. Grafiknya ditunjukkan oleh Gambar 4.23. Sehingga nilai TDCG didapatkan sebesar:



Gambar 4.23 Kandungan Gas Terlarut Sample Kurva Beban Harian Transformator

$$TDCG = H_2 + CH_4 + CO + C_2H_4 + C_2H_6 + C_2H_2 + O_2$$

$$TDCG = 0 + 0 + 7 + 0 + 0 + 1 + 0$$

$$TDCG = 7 \text{ ppm}$$

Berdasarkan Gambar 4.23 Nilai TDCG minyak baru Nynas Nitro Libra sebesar 7 ppm dan termasuk dalam kategori kondisi 1 yakni minyak berada pada kondisi normal. Pada kondisi normal ini, minyak harus selalu dipantau untuk menghindari jika terdapat penambahan-penambahan dari gas atau kontaminan yang tidak diinginkan.

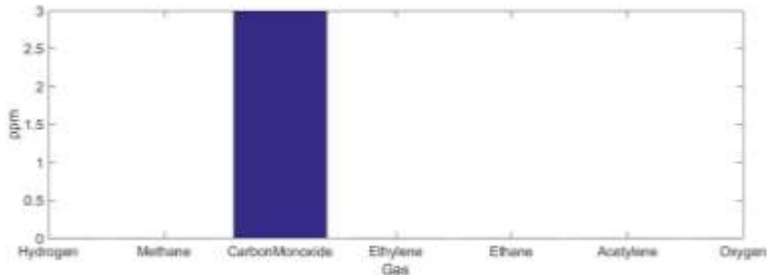
b. Sample PV

Pengujian DGA dilakukan setelah proses pemanasan pada minyak mineral berjenis Nynas Nitro Libra. Hasil dari pengujian DGA tersebut ditunjukkan oleh Tabel 4.15

Tabel 4.15 Kandungan Gas Terlarut Sample PV

Komponen Gas	Nilai Gas(ppm)	Kondisi
H_2 (Hydrogen)	0 ppm	1
CH_4 (Methane)	0 ppm	1
CO (Carbon Monoxide)	3 ppm	1
CO_2 (Carbon Dioxide)	1374 ppm	-
C_2H_4 (Ethylene)	0 ppm	1
C_2H_6 (Ethane)	0 ppm	1
C_2H_2 (Acetylene)	0 ppm	1
O_2 (Oxygen)	0 ppm	1
N_2 (Nitrogen)	0 ppm	-
TDCG	3 ppm	1

Berdasarkan Tabel 4.15 kandungan gas terlarut adalah CO sebesar 3 ppm. Grafiknya ditunjukkan oleh Gambar 4.24. Sehingga nilai TDCG didapatkan sebesar:



Gambar 4.24 Kandungan Gas Terlarut Sample PV

$$TDCG = H_2 + CH_4 + CO + C_2H_4 + C_2H_6 + C_2H_2 + O_2$$

$$TDCG = 0 + 0 + 3 + 0 + 0 + 0 + 0$$

$$TDCG = 3 \text{ ppm}$$

Berdasarkan Tabel 4.15 nilai TDCG minyak baru Nynas Nitro Libra sebesar 4 ppm dan termasuk dalam kategori kondisi 1 yakni minyak berada pada kondisi normal. Pada kondisi normal ini, minyak harus selalu dipantau untuk menghindari jika terdapat penambahan-penambahan dari gas atau kontaminan yang tidak diinginkan.

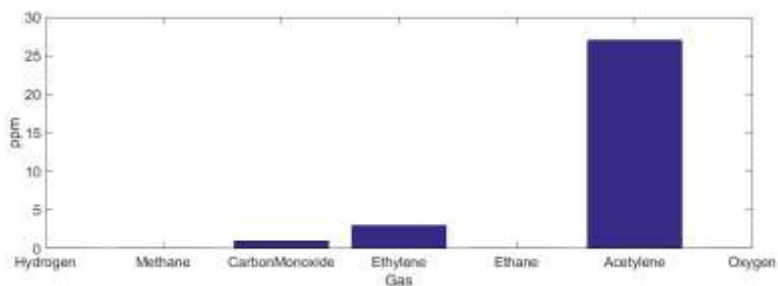
e. Sample Charging Station

Pengujian DGA dilakukan setelah proses pemanasan pada minyak mineral berjenis Nynas Nitro Libra. Hasil dari pengujian DGA tersebut ditunjukkan oleh Tabel 4.16:

Tabel 4.16 Kandungan Gas Terlarut Sample *Charging Station*

Komponen Gas	Nilai Gas(ppm)	Kondisi
H ₂ (<i>Hydrogen</i>)	0 ppm	1
CH ₄ (<i>Methane</i>)	0 ppm	1
CO (<i>Carbon Monoxide</i>)	1 ppm	1
CO ₂ (<i>Carbon Dioxide</i>)	1466 ppm	-
C ₂ H ₄ (<i>Ethylene</i>)	3 ppm	1
C ₂ H ₆ (<i>Ethane</i>)	0 ppm	1
C ₂ H ₂ (<i>Acetylene</i>)	27 ppm	1
O ₂ (<i>Oxygen</i>)	0 ppm	1
N ₂ (<i>Nitrogen</i>)	0 ppm	-
TDCG	31 ppm	1

Berdasarkan Tabel **4.16** kandungan gas terlarut adalah CO sebesar 1 ppm, C₂H₄ sebesar 3 ppm, dan C₂H₂ sebesar 27 ppm. Grafiknya ditunjukkan oleh Gambar **4.25**. Sehingga nilai TDCG didapatkan sebesar:



Gambar 4.25 Kandungan Gas Terlarut Sample *Charging Station*

$$TDCG = H_2 + CH_4 + CO + C_2H_4 + C_2H_6 + C_2H_2 + O_2$$

$$TDCG = 0 + 0 + 1 + 3 + 0 + 27 + 0$$

$$TDCG = 31 ppm$$

Pada sample *charging station* nilai C_2H_2 bernilai cukup tinggi 27 ppm tetapi masih dalam kondisi 1. Hal ini disebabkan oleh *arching* pada minyak transformator karena pola pemanasan sample *charging station* paling tinggi diantara sample yang lain.

Berdasarkan Tabel 4.16 Nilai TDCG minyak baru Nynas Nitro Libra sebesar 31 ppm dan termasuk dalam kategori kondisi 1 yakni minyak berada pada kondisi normal. Pada kondisi normal ini, minyak harus selalu dipantau untuk menghindari jika terdapat penambahan-penambahan dari gas atau kontaminan yang tidak diinginkan.

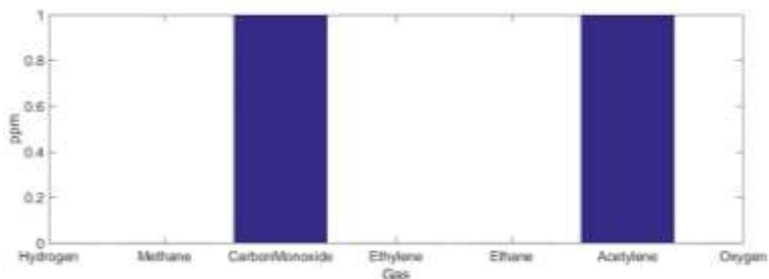
f. Sample Konstan

Pengujian DGA dilakukan sebelum proses pemanasan pada minyak mineral berjenis Nynas Nitro Libra. Hasil dari pengujian DGA tersebut ditunjukkan oleh Tabel 4.17:

Tabel 4.17 Kandungan Gas Terlarut Sample Konstan

Komponen Gas	Nilai Gas(ppm)	Kondisi
H_2 (<i>Hydrogen</i>)	0 ppm	1
CH_4 (<i>Methane</i>)	0 ppm	1
CO (<i>Carbon Monoxide</i>)	1(<LDL) ppm	1
CO_2 (<i>Carbon Dioxide</i>)	1125 ppm	-
C_2H_4 (<i>Ethylene</i>)	0 ppm	1
C_2H_6 (<i>Ethane</i>)	0 ppm	1
C_2H_2 (<i>Acetylene</i>)	1 ppm	1
O_2 (<i>Oxygen</i>)	0 ppm	1
N_2 (<i>Nitrogen</i>)	0 ppm	-
TDCG	2 ppm	1

Berdasarkan Tabel 4.17 kandungan gas terlarut adalah CO sebesar 1 ppm dan C_2H_2 sebesar 1 ppm. Grafiknya ditunjukkan oleh Gambar 4.26. Sehingga nilai TDCG didapatkan sebesar:



Gambar 4.26 Kandungan Gas Terlarut Sample Konstan

$$TDCG = H_2 + CH_4 + CO + C_2H_4 + C_2H_6 + C_2H_2 + O_2$$

$$TDCG = 0 + 0 + 1 + 0 + 0 + 1 + 0$$

$$TDCG = 2 \text{ ppm}$$

Berdasarkan Tabel 4.17 Nilai CO sebesar 1 (<LDL) dan C₂H₂ 1ppm. LDL (*Lower Detection Limit*) adalah standar pengukuran nilai paling rendah dari alat sehingga nilai CO sangat kecil dan dikategorikan bernilai 1 ppm. Nilai TDCG minyak baru Nynas Nitro Libra sebesar 2 ppm dan termasuk dalam kategori kondisi 1 yakni minyak berada pada kondisi normal. Pada kondisi normal ini, minyak harus selalu dipantau untuk menghindari jika terdapat penambahan-penambahan dari gas atau kontaminan yang tidak diinginkan.

4.3.3 Perbandingan DGA

Tabel 4.18 Perbandingan DGA

	Pre	Trafo	PV	CS	Konstan
H ₂	0	0	0	0	0
CH ₄	0	0	0	0	0
CO	3	7	3	1	1
C ₂ H ₄	0	0	0	3	0
C ₂ H ₆	0	0	0	0	0
C ₂ H ₂	1	0	0	27	1
O ₂	0	0	0	0	0
CO ₂	510	1855	1374	1466	1125
TDCG	4 ppm	7 ppm	3 ppm	31 ppm	2 ppm
Kondisi	1	1	1	1	1

Tabel **4.18** menunjukkan kandungan gas terlarut rata-rata dalam kategori kondisi 1 yakni minyak berada pada kondisi normal. Pada kondisi normal ini, minyak harus selalu dipantau untuk menghindari jika terdapat penambahan-penambahan dari gas atau kontaminan yang tidak diinginkan.

CO muncul karena pemanasan selulosa yang berlebihan. Pada pengujian Tugas Akhir ini tidak menggunakan kertas isolasi transformator (sumber selulosa) namun berdasarkan Tabel **4.18** nilai CO muncul dalam jumlah kecil dan berubah-ubah dalam jumlah yang kecil pula. Hal ini disebabkan karena dalam kondisi normal pada minyak transformator terdapat kandungan CO dalam jumlah yang kecil dan berubah-ubah dalam jumlah yang tidak signifikan pula.

C₂H₄ muncul karena proses pemanasan yang tinggi. Berdasarkan Tabel **4.18** C₂H₄ muncul pada sample charging station sebesar 3 ppm. Hal tersebut disebabkan karena sample *charging station* mempunyai pola pemanasan paling tinggi dibandingkan sample yang lain sehingga muncul kandungan C₂H₄ namun masih dalam jumlah kecil.

C₂H₂ muncul karena arching. Berdasarkan Tabel **4.18** nilai C₂H₂ paling tinggi dimiliki sample *charging station* sebesar 27 ppm namun masih dalam kondisi 1 (normal). Sample *charging station* mempunyai pola pemanasan paling tinggi dibandingkan dengan sample yang lain. Pola pemanasan yang tinggi tersebut memunculkan arching pada minyak transformator.

CO₂ muncul karena terjadi kontak langsung dengan udara bebas. Proses pemanasan dan pemindahan minyak ke botol tidak dilakukan dalam kondisi vakum oleh karena itu nilai CO₂ yang muncul cukup tinggi.

Berdasarkan Tabel **4.18** sample konstan mempunyai nilai TDCG paling rendah yakni 2 ppm. Hal ini menunjukkan bahwa pola pemanasan konstan memberikan hasil terbaik untuk kesehatan minyak transformator terbukti dengan nilai TDCG paling rendah sebesar 2 ppm.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Beberapa kesimpulan yang didapat dari pengujian minyak ini adalah:

1. Dari analisa karakteristik fisik disimpulkan bahwa pola perubahan beban yang dalam penelitian ini diwakilkan oleh kenaikan temperatur dan lama pemanasan mempercepat kerusakan minyak isolasi.
2. Pola perubahan beban yang ekstrem diwakilkan oleh temperatur mempengaruhi karakteristik fisik minyak yakni mempercepat kerusakan minyak. Ditunjukkan oleh sample kurva beban harian yang mengalami perubahan warna dari putih pucat hingga kuning terang. Sample PV mengalami perubahan warna dari putih pucat hingga coklat. Sample *charging station* mengalami perubahan warna dari kuning pucat hingga coklat.
3. Pola beban konstan yang diwakilkan oleh temperatur konstan tidak terlalu memperburuk kerusakan minyak. Hal ini ditandai dengan sample konstan yang mengalami perubahan warna dari putih pucat hingga kuning pucat.
4. Dari analisa karakteristik listrik disimpulkan bahwa dengan pola beban konstan diwakilkan dengan temperatur konstan memberikan nilai tegangan tembus lebih tinggi dibandingkan pola beban yang berubah-ubah. Nilai tegangan tembus berturut-turut sample konstan, sample kurva beban harian tranformator, sample PV, dan sample *charging station* pemanasan 7 hari adalah 36.108 kV, 8.8 kV, 24.548 kV, dan 28.894 kV.
5. Kandungan gas terlarut semua sample dalam kategori kondisi 1 yakni minyak berada pada kondisi normal.
6. Pada sample *charging station* nilai C_2H_2 bernilai cukup tinggi 27 ppm disebabkan oleh pola pemanasan sample *charging station* paling tinggi diantara sample yang lain.
7. Berturut-turut sample konstan, sample kurva beban harian tranformator, sample PV, dan sample *charging station* mempunyai nilai TDCG yakni 2 ppm, 7 ppm, 3 ppm, dan 31 ppm. Hal ini menunjukkan bahwa pola pemanasan konstan

mempunyai nilai TDCG paling rendah dan memberikan hasil terbaik untuk kesehatan minyak transformator.

5.2 Saran

Sebaiknya ditambahkan analisa lebih rinci tentang pengujian tingkat oksidasi pada minyak untuk hasil yang lebih akurat.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Catterson, V.M. dkk. 2015. *The Impact of Smart Grid Technology on Dielectrics and Electrical Insulation*. Journal of IEEE, Vol. 22, No. 6
- [2] Juhari, Rifqi. Dkk. 2017. *Analysis of Physical and Electrical Characteristic of Transformer Oil Insulation During Accelerated thermal Aging Experiment and Its Lifetime Estimation Using Arrhenius Law and Breakdown Voltage Test*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember
- [3] Lister, Eugene C., 1984. "Mesin dan Rangkaian Listrik". Jakarta: Erlangga.
- [4] Chapman, Stephen J., 2005. "*Electric Machinery Fundamentals*". New York: McGraw-Hill.
- [5] Negara, I Made Yulistya. 2013. "Teknik Tegangan Tinggi". Yogyakarta: Graha Ilmu.
- [6] Febrina, Dwi Cahya, "Pengaruh Temperatur terhadap Tegangan Tembus dan Usia Kerja Berbagai Jenis Minyak Transformator di PT. PLN (PERSERO) P3B JB APP-Surabaya", Tugas Akhir, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, 2016.
- [7] Singgih, Sugeng Nur dan Berhim, Hamzah, "Analisis Pengaruh Keadaan Suhu Terhadap Tegangan Tembus AC dan DC pada Minyak Transformator", Jurnal Teknik Elektro Vol. 1 No.2 Juli-Desember 2009.
- [8] Arfa, Nuril Fathara, "Evaluasi Kondisi Trafo Berdasarkan Interpretasi Hasil Analisis Gas Terlarut (DGA) pada Minyak Menggunakan Prinsip Degradasi Thermal", Tugas Akhir, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, 2014.
- [9] X.F. Wang, Z.D.Wang, Q.Liu, G. Wilson, D. Walker, P.W.R. Smith. "*Dissolve Gas Analysis (DGA) of Mineral Oil under Thermal Fault with Tube Heating Method*", 19th IEEE International Conference on Dielectric Liquids (ICDL), Manchester, United Kingdom, 25-29 June 2017.
- [10] Wibowo, Wahyu Kunto, Yuningtyastuti, dan Syakur, Abdul, "Analisis Karakteristik *Breakdown Voltage* pada Dielektrik Minyak Shell Diala B pada Suhu 30°C – 130°C", Jurnal Teknik

Elektro Universitas Diponegoro.

- [11] Abderrahman, Ahmad, Lisa Lamount, and Lana El Chaar, "Energy Storage for Intermittent Renewable Energy System", Article 2nd World Sustainability Forum.
- [12] Hong, Ying-Yi, Jen-Jia Wu, "Determination of Transformer Capacities in an Industrial Factory with Intermittent Loads", IEEE Transactions on Power Delivery, Vol 19 No 3 July 2004.
- [13] Widodo, Rendy Hari, Soemarwanto, Hadi Suyono, "Pengaruh Filterisasi Minyak Transformator terhadap Kinerja Transformator Daya 30 MVA di Gardu Induk Sengkaling", Universitas Brawijaya
- [14] N, Azis, "Ageing Assesment of Insulation Paper with Consideration of In-Service Ageing and Natural Ester Application", p.213, 2012.

LAMPIRAN A

Lampiran A adalah tabel beban harian transformator subsistem Bali 20 Mei 2017.

No	Jam(hours)	Realisasi Beban(MW)
1	00.30	576.4
2	01.00	565.4
3	01.30	547.7
4	02.00	535.2
5	02.30	522.6
6	03.00	516.1
7	03.30	509.5
8	04.00	503.8
9	04.30	501.3
10	05.00	506.4
11	05.30	523.0
12	06.00	539.7
13	06.30	536.8
14	07.00	532.7
15	07.30	540.9
16	08.00	566.7
17	08.30	605.9
18	09.00	632.6
19	09.30	658.9
20	10.00	678.5
21	10.30	686.4
22	11.00	696.7
23	11.30	694.5
24	12.00	691.4
25	12.30	680.4
26	13.00	678.8
27	13.30	686.4
28	14.00	692.6
29	14.30	696.4
30	15.00	693.1

31	15.30	688.1
32	16.00	680.1
33	16.30	673.4
34	17.00	669.9
35	17.30	679.9
36	18.00	691.7
37	18.30	766.3
38	19.00	777.2
39	19.30	772.1
40	20.00	763.9
41	20.30	750.4
42	21.00	742.9
43	21.30	728.6
44	22.00	703.2
45	22.30	671.8
46	23.00	640.4
47	23.30	616.9
48	24.00	594.3

LAMPIRAN B

Lampiran B tabel prosentase beban subsistem Bali 20 Mei 2017
Sample 1.

No	Jam(hours)	Prosentase Beban(%)
1	00.30	57.64
2	01.00	56.54
3	01.30	54.77
4	02.00	53.52
5	02.30	52.26
6	03.00	51.61
7	03.30	50.95
8	04.00	50.38
9	04.30	50.13
10	05.00	50.64
11	05.30	52.30
12	06.00	53.97
13	06.30	53.68
14	07.00	53.27
15	07.30	54.09
16	08.00	56.67
17	08.30	60.59
18	09.00	63.26
19	09.30	65.89
20	10.00	67.85
21	10.30	68.64
22	11.00	69.67
23	11.30	69.45
24	12.00	69.14
25	12.30	68.04
26	13.00	67.88
27	13.30	68.64
28	14.00	69.26
29	14.30	69.64
30	15.00	69.31
31	15.30	68.81

32	16.00	68.01
33	16.30	67.34
34	17.00	66.99
35	17.30	67.99
36	18.00	69.17
37	18.30	76.63
38	19.00	77.72
39	19.30	77.21
40	20.00	76.39
41	20.30	75.04
42	21.00	74.29
43	21.30	72.86
44	22.00	70.32
45	22.30	67.18
46	23.00	64.04
47	23.30	61.69
48	24.00	59.43

LAMPIRAN C

Lampiran C adalah tabel suhu Sample 1.

No	Jam(hours)	Suhu ($^{\circ}\text{C}$)
1	00.30	51.876
2	01.00	50.886
3	01.30	49.293
4	02.00	48.168
5	02.30	47.034
6	03.00	46.449
7	03.30	45.855
8	04.00	45.342
9	04.30	45.117
10	05.00	45.576
11	05.30	47.07
12	06.00	48.573
13	06.30	48.312
14	07.00	47.943
15	07.30	48.681
16	08.00	51.003
17	08.30	54.531
18	09.00	56.934
19	09.30	59.301
20	10.00	61.065
21	10.30	61.776
22	11.00	62.703
23	11.30	62.505
24	12.00	62.226
25	12.30	61.236
26	13.00	61.092
27	13.30	61.776
28	14.00	62.334
29	14.30	62.676
30	15.00	62.379
31	15.30	61.929
32	16.00	61.209

33	16.30	60.606
34	17.00	60.291
35	17.30	61.191
36	18.00	62.253
37	18.30	68.967
38	19.00	69.948
39	19.30	69.489
40	20.00	68.751
41	20.30	67.536
42	21.00	66.861
43	21.30	65.574
44	22.00	63.288
45	22.30	60.462
46	23.00	57.636
47	23.30	55.521
48	24.00	53.487

LAMPIRAN D

Lampiran D adalah tabel suhu pengaturan oven Sample 1

No	Jam	Suhu ($^{\circ}\text{C}$)
1	01.00	75
2	02.00	60
3	03.00	60
4	04.00	60
5	05.00	60
6	06.00	60
7	07.00	60
8	08.00	75
9	09.00	90
10	10.00	105
11	11.00	105
12	12.00	105
13	13.00	105
14	14.00	105
15	15.00	105
16	16.00	105
17	17.00	105
18	18.00	105
19	19.00	120
20	20.00	120
21	21.00	120
22	22.00	105
23	23.00	90
24	24.00	75

LAMPIRAN E

Lampiran E *Supply* PV 18 November 2018

Waktu (hours)	18 November 2017		
	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (Watt)
01.00	0	0	0
02.00	0	0	0
03.00	0	0	0
04.00	0	0	0
05.00	0	0	0
06.00	32.67	0.3	9.801
07.00	32.86	1.19	39.1034
08.00	32.98	3.2	105.536
09.00	33.07	5.4	178.578
10.00	32.87	6.68	219.5716
11.00	35.279	4.15	146.4079
12.00	32.98	1.93	63.6514
13.00	32.8	1.2	39.36
14.00	32.37	0.36	11.6532
15.00	32.49	0.43	13.9707
16.00	31.27	0.22	6.8794
17.00	13.78	0.17	2.3426
18.00	1.52	0.188	0.28576
19.00	1.4	0.19	0.266
20.00	0	0	0
21.00	0	0	0
22.00	0	0	0
23.00	0	0	0
24.00	0	0	0

Supply PV 19 November 2018

Waktu (hours)	19 November 2017		
	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (Watt)
01.00	0	0	0
02.00	0	0	0
03.00	0	0	0
04.00	0	0	0
05.00	0	0	0
06.00	32.65	0.98	31.997
07.00	32.78	1.5	49.995
08.00	33.02	3.12	103.0224
09.00	33.33	4.46	148.6518
10.00	32.26	7.13	230.0138
11.00	35.2	3.19	112.288
12.00	34.29	1.57	53.8353
13.00	33.83	1.38	46.6854
14.00	33.69	0.95	32.0055
15.00	32.17	0.64	20.5888
16.00	30.63	0.35	10.7205
17.00	14.69	0.13	1.9097
18.00	2.2	0.14	0.308
19.00	2.2	0.14	0.308
20.00	0	0	0
21.00	0	0	0
22.00	0	0	0
23.00	0	0	0
24.00	0	0	0

Supply PV 19 November 2018

Waktu (hours)	22 November 2017		
	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (Watt)
01.00	0	0	0
02.00	0	0	0
03.00	0	0	0
04.00	0	0	0
05.00	0	0	0
06.00	38.31	1.23	47.1213
07.00	40.8	1.67	68.136
08.00	40.13	2.31	92.7003
09.00	40.14	5.78	232.0092
10.00	40.29	7.37	296.9373
11.00	40.16	7.21	289.5536
12.00	39.97	5.29	211.4413
13.00	40.52	4.54	183.9608
14.00	40.42	4.37	176.6354
15.00	31.44	2.01	63.1944
16.00	6.9	0.72	4.968
17.00	2.38	0.22	0.5236
18.00	1.9	0.18	0.342
19.00	1.86	0.1	0.186
20.00	0	0	0
21.00	0	0	0
22.00	0	0	0
23.00	0	0	0
24.00	0	0	0

LAMPIRAN F

Lampiran F adalah kurva beban transformator dan PV Sample 2

No	Jam (hours)	Transformator (MW)	PV (MW)	Trafo&PV (MW)
1	00.30	576.4	0	576.4
2	01.00	565.4	0	565.4
3	01.30	547.7	0	547.7
4	02.00	535.2	0	535.2
5	02.30	522.6	0	522.6
6	03.00	516.1	0	516.1
7	03.30	509.5	0	509.5
8	04.00	503.8	0	503.8
9	04.30	501.3	0	501.3
10	05.00	506.4	0	506.4
11	05.30	523.0	0	523.0
12	06.00	539.7	47.1213	492.6
13	06.30	536.8	47.1213	489.7
14	07.00	532.7	68.136	464.6
15	07.30	540.9	68.136	472.8
16	08.00	566.7	92.7003	474
17	08.30	605.9	92.7003	513.2
18	09.00	632.6	232.0092	400.6
19	09.30	658.9	232.0092	426.9
20	10.00	678.5	296.9373	381.6
21	10.30	686.4	296.9373	389.5
22	11.00	696.7	289.5536	407.1
23	11.30	694.5	289.5536	404.9
24	12.00	691.4	211.4413	480
25	12.30	680.4	211.4413	469
26	13.00	678.8	183.9608	494.8
27	13.30	686.4	183.9608	502.4
28	14.00	692.6	176.6354	516
29	14.30	696.4	176.6354	519.8
30	15.00	693.1	63.1944	629.9
31	15.30	688.1	63.1944	624.9

32	16.00	680.1	4.968	675.1
33	16.30	673.4	4.968	668.4
34	17.00	669.9	0.5236	669.4
35	17.30	679.9	0.5236	697.4
36	18.00	691.7	0.342	691.4
37	18.30	766.3	0.324	766
38	19.00	777.2	0.186	777
39	19.30	772.1	0.186	771.9
40	20.00	763.9	0	763.9
41	20.30	750.4	0	750.4
42	21.00	742.9	0	742.9
43	21.30	728.6	0	728.6
44	22.00	703.2	0	703.2
45	22.30	671.8	0	671.8
46	23.00	640.4	0	640.4
47	23.30	616.9	0	616.9
48	24.00	594.3	0	594.3

LAMPIRAN G

Lampiran G adalah tabel prosentase beban Sample 2

No	Jam (hours)	Prosentase Beban (%)
1	00.30	57.64
2	01.00	56.54
3	01.30	54.77
4	02.00	53.52
5	02.30	52.26
6	03.00	51.61
7	03.30	50.95
8	04.00	50.38
9	04.30	50.13
10	05.00	50.64
11	05.30	52.30
12	06.00	49.26
13	06.30	48.97
14	07.00	46.46
15	07.30	47.28
16	08.00	47.4
17	08.30	51.32
18	09.00	40.06
19	09.30	42.69
20	10.00	38.16
21	10.30	38.95
22	11.00	40.71
23	11.30	40.49
24	12.00	48.0
25	12.30	46.9
26	13.00	49.48
27	13.30	50.24
28	14.00	51.6
29	14.30	51.98
30	15.00	62.99
31	15.30	62.49

32	16.00	67.51
33	16.30	66.84
34	17.00	66.94
35	17.30	69.74
36	18.00	69.14
37	18.30	76.6
38	19.00	77.7
39	19.30	77.19
40	20.00	76.39
41	20.30	75.04
42	21.00	74.29
43	21.30	72.86
44	22.00	70.32
45	22.30	67.18
46	23.00	64.04
47	23.30	61.69
48	24.00	59.43

LAMPIRAN H

Lampiran H adalah tabel suhu real Sample 2

No	Jam(hours)	Suhu ($^{\circ}\text{C}$)
1	00.30	51.876
2	01.00	50.886
3	01.30	49.293
4	02.00	48.168
5	02.30	47.034
6	03.00	46.449
7	03.30	45.855
8	04.00	45.342
9	04.30	45.117
10	05.00	45.576
11	05.30	47.07
12	06.00	44.33208
13	06.30	44.07108
14	07.00	41.81076
15	07.30	42.54876
16	08.00	42.65997
17	08.30	46.18797
18	09.00	36.05317
19	09.30	38.42017
20	10.00	34.34064
21	10.30	35.05164
22	11.00	36.64318
23	11.30	36.44518
24	12.00	43.19628
25	12.30	42.20628
26	13.00	44.53553
27	13.30	45.21953
28	14.00	46.43681
29	14.30	46.77881
30	15.00	56.6915
31	15.30	56.2415
32	16.00	60.76188

33	16.30	60.15888
34	17.00	60.24388
35	17.30	61.14388
36	18.00	62.22222
37	18.30	68.93622
38	19.00	69.93126
39	19.30	69.47226
40	20.00	68.751
41	20.30	67.536
42	21.00	66.861
43	21.30	65.574
44	22.00	63.288
45	22.30	60.462
46	23.00	57.636
47	23.30	55.521
48	24.00	53.487

LAMPIRAN I

Lampiran I adalah tabel suhu pengaturan oven Sample 2

No	Jam	Suhu ($^{\circ}\text{C}$)
1	01.00	75
2	02.00	60
3	03.00	60
4	04.00	60
5	05.00	60
6	06.00	45
7	07.00	45
8	08.00	45
9	09.00	30
10	10.00	30
11	11.00	30
12	12.00	45
13	13.00	45
14	14.00	60
15	15.00	90
16	16.00	90
17	17.00	90
18	18.00	105
19	19.00	120
20	20.00	120
21	21.00	120
22	22.00	105
23	23.00	90
24	24.00	75

LAMPIRAN J

Lampiran J adalah tabel prosentase *charging station* Sample 3

No	Jam(hours)	Prosentase <i>Charging Staion</i> (%)
1	00.30	35
2	01.00	35
3	01.30	35
4	02.00	35
5	02.30	35
6	03.00	35
7	03.30	35
8	04.00	35
9	04.30	35
10	05.00	35
11	05.30	35
12	06.00	35
13	06.30	35
14	07.00	0
15	07.30	0
16	08.00	5
17	08.30	5
18	09.00	5
19	09.30	5
20	10.00	0
21	10.30	0
22	11.00	30
23	11.30	30
24	12.00	30
25	12.30	30
26	13.00	30
27	13.30	30
28	14.00	30
29	14.30	0
30	15.00	0
31	15.30	0

32	16.00	25
33	16.30	25
34	17.00	0
35	17.30	0
36	18.00	0
37	18.30	0
38	19.00	5
39	19.30	5
40	20.00	5
41	20.30	5
42	21.00	0
43	21.30	0
44	22.00	0
45	22.30	0
46	23.00	35
47	23.30	35
48	24.00	35

LAMPIRAN K

Lampiran K adalah kurva beban transformator dan *charging station* Sample 3

No	Jam (hours)	Transformator (%)	<i>Charging Station</i> (%)	Trafo&CS (%)
1	00.30	57.64	35	92.64
2	01.00	56.54	35	91.54
3	01.30	54.77	35	89.77
4	02.00	53.52	35	88.52
5	02.30	52.26	35	87.26
6	03.00	51.61	35	86.61
7	03.30	50.95	35	85.95
8	04.00	50.38	35	85.38
9	04.30	50.13	35	85.13
10	05.00	50.64	35	85.64
11	05.30	52.30	35	87.3
12	06.00	53.97	35	88.97
13	06.30	53.68	35	88.68
14	07.00	53.27	0	53.27
15	07.30	54.09	0	54.09
16	08.00	56.67	5	61.67
17	08.30	60.59	5	65.59
18	09.00	63.26	5	68.26
19	09.30	65.89	5	70.89
20	10.00	67.85	0	67.85
21	10.30	68.64	0	68.64
22	11.00	69.67	30	99.67
23	11.30	69.45	30	99.45
24	12.00	69.14	30	99.14
25	12.30	68.04	30	98.04
26	13.00	67.88	30	97.88
27	13.30	68.64	30	98.64
28	14.00	69.26	30	99.26
29	14.30	69.64	0	69.64

30	15.00	69.31	0	69.31
31	15.30	68.81	0	68.81
32	16.00	68.01	25	93.01
33	16.30	67.34	25	92.34
34	17.00	66.99	0	66.99
35	17.30	67.99	0	67.99
36	18.00	69.17	0	69.17
37	18.30	76.63	0	76.63
38	19.00	77.72	5	82.72
39	19.30	77.21	5	82.21
40	20.00	76.39	5	81.39
41	20.30	75.04	5	80.04
42	21.00	74.29	0	74.29
43	21.30	72.86	0	72.86
44	22.00	70.32	0	70.32
45	22.30	67.18	0	67.18
46	23.00	64.04	35	99.04
47	23.30	61.69	35	96.69
48	24.00	59.43	35	94.43

LAMPIRAN L

Lampiran L adalah tabel suhu real Sample 3

No	Jam(hours)	Suhu ($^{\circ}\text{C}$)
1	00.30	83.376
2	01.00	82.386
3	01.30	80.793
4	02.00	79.668
5	02.30	78.534
6	03.00	77.949
7	03.30	77.355
8	04.00	76.842
9	04.30	76.617
10	05.00	77.076
11	05.30	78.57
12	06.00	80.073
13	06.30	79.812
14	07.00	47.943
15	07.30	48.681
16	08.00	55.503
17	08.30	59.031
18	09.00	61.434
19	09.30	63.801
20	10.00	61.065
21	10.30	61.776
22	11.00	89.703
23	11.30	89.505
24	12.00	89.226
25	12.30	88.236
26	13.00	88.092
27	13.30	88.776
28	14.00	89.334
29	14.30	62.676
30	15.00	62.379
31	15.30	61.929
32	16.00	83.709

33	16.30	83.106
34	17.00	60.291
35	17.30	61.191
36	18.00	62.253
37	18.30	68.967
38	19.00	74.448
39	19.30	73.989
40	20.00	73.989
41	20.30	72.036
42	21.00	66.861
43	21.30	65.574
44	22.00	63.288
45	22.30	60.462
46	23.00	89.136
47	23.30	87.021
48	24.00	84.987

LAMPIRAN M

Lampiran M adalah tabel suhu pengaturan oven Sample 3

No	Jam	Suhu ($^{\circ}\text{C}$)
1	01.00	165
2	02.00	150
3	03.00	150
4	04.00	150
5	05.00	150
6	06.00	150
7	07.00	60
8	08.00	75
9	09.00	105
10	10.00	105
11	11.00	180
12	12.00	180
13	13.00	180
14	14.00	180
15	15.00	105
16	16.00	165
17	17.00	105
18	18.00	105
19	19.00	135
20	20.00	135
21	21.00	120
22	22.00	105
23	23.00	180
24	24.00	165

LAMPIRAN N

Lampiran N adalah tabel suhu pengaturan oven Sample 4

No	Jam	Suhu ($^{\circ}\text{C}$)
1	01.00	90
2	02.00	90
3	03.00	90
4	04.00	90
5	05.00	90
6	06.00	90
7	07.00	90
8	08.00	90
9	09.00	90
10	10.00	90
11	11.00	90
12	12.00	90
13	13.00	90
14	14.00	90
15	15.00	90
16	16.00	90
17	17.00	90
18	18.00	90
19	19.00	90
20	20.00	90
21	21.00	90
22	22.00	90
23	23.00	90
24	24.00	90

LAMPIRAN O

Lampiran O adalah datasheet dari minyak Nynas Nitro Libra

PROPERTY	UNIT	TEST METHOD	SPECIFICATION LIMITS		TYPICAL DATA
			MIN	MAX	
1 - Function					
Viscosity, 40°C	mm²/s	ISO 3104		12.0	11.5
Viscosity, -20°C	mm²/s	ISO 3104		1800	470
Pour point	°C	ISO 3016		-30	-54
Water content	mg/kg	IEC 60814		30	<20
Breakdown voltage					
- Before treatment	kV	IEC 60156	30		40-60
- After treatment	kV	IEC 60296	70		>70
Density, 20°C	kg/dm³	ISO 12185		0.895	0.875
DDF at 90°C		IEC 60247		0.005	<0.001
2 - Refining/stability					
Appearance		IEC 60296	Clear, free from sediment		complies
Acidity	mg KOH/kg	IEC 62021		0.01	<0.01
Interfacial tension	mN/m	EN 14210	40		>40
Corrosive sulphur		DIN 51353		non-corrosive	non-corrosive
Potentially corrosive sulphur		IEC 62535		non-corrosive	non-corrosive
Corrosive sulphur		ASTM D 1275 B		non-corrosive	non-corrosive
DBDS	mg/kg	IEC 62697-1		not detectable	not detectable
Antioxidant	wt %	IEC 60666		not detectable	not detectable
Metal passivator additives	mg/kg	IEC 60666		not detectable	not detectable
2-Furfural and related compounds content	mg/kg	IEC 61198		0.05	<0.05
3 - Performance					
Oxidation stability at 120°C, 164 h		IEC 61125 G			
Total acidity	mg KOH/kg			1.2	0.7
Sludge	wt %			0.8	0.2
DDF at 90°C				0.500	0.130
4 - Health, safety and environment (HSE)					
Flash point, PM	°C	ISO 2719	135		140
PCA	wt %	IP 346		3	<3
PCB	mg/kg	IEC 61819		not detectable	not detectable

Distro DT-11 is an uninhibited insulating oil, meeting IEC 60296 Ed.4 (2012) General specifications, LCSET -20°C. This transformer oil is developed for distribution transformers, and should only be used in applications with a nominal voltage level less than 72 kV.

Severely Hydrotreated Insulating Oil
Issuing date: 2015-06-04

LAMPIRAN P

Lampiran P adalah spesifikasi oven Ox-8830 Oxone Oven Master 30 liter

1	Nama	Oxone Oven Master
2	Tipe	Ox-8330
3	Kapasitas	30 liter
4	Daya	1300Watt
5	Tegangan	220-240 Volt/ 50 Hz
6	Dimensi(PxLxT)	45 cm x 31 cm x 34 cm
7	Dmensi nampan(PxLxT)	26 cm x 22.5 cm x 2 cm
7	Dimensi rak satinless (PxL)	28.5 cm x 25 cm
8	Warna	Merah
9	Kabel	Ruber wire
10	Tmer	120 min with stay on
11	Min (room temperature)	-23 ⁰ C
12	4 shift function	Memanaskan, mencairkan, memanggang, membakar

LAMPIRAN Q

Lampiran Q adalah datasheet Fluke 62 Infrared Thermometer

Specifications			
Temperature Range	Fluke MAX	62	-30 °C to 500 °C (-22 °F to 932 °F)
	Fluke MAX+	62	-30 °C to 650 °C (-22 °F to 1202 °F)
Accuracy	Fluke MAX	62	±1.5 °C or ±1.5% of reading, whichever is greater -10 °C to 0 °C: ±2.0 -30 °C to -10 °C: ±3.0
	Fluke MAX+	62	±1.0 °C or ±1.0% of reading, whichever is greater -10 °C to 0 °C: ±2.0 -30 °C to -10 °C: ±3.0
Response Time (95%)	Fluke MAX	62	<500 ms (95% of reading)
	Fluke MAX+	62	<300 ms (95% of reading)
Spectral Response	8 to 14 microns		
Emissivity	0.10 to 1.00		
Optical Resolution	Fluke MAX	62	10:1 (calculated at 90% energy)
	Fluke MAX+	62	12:1 (calculated at 90% energy)
Display Resolution	0.1 °C (0.2 °F)		
Repeatability of Readings	Fluke MAX	62	±0.8% of reading or <±1.0 °C (2 °F), whichever is greater
	Fluke MAX+	62	±0.5% of reading or <±0.5 °C (1 °F),

	whichever is greater	
Power	AA battery	
Battery Life	Fluke 62 MAX	10 hours with laser and backlight on
	Fluke 62 MAX+	8 hours with laser and backlight on
Physical Specifications	Weight	255 g (8.99 oz)
	Size	(175 x 85 x 75) mm (6.88 x 3.34 x 2.95) inches
	Operating Temperature	0 °C to 50 °C (32 °F to 122 °F)
	Storage Temperature	-20 °C to 60 °C (-4 °F to 140 °F), (without battery)
	Operating Humidity	10 % to 90 % RH non-condensing at 30 °C (86 °F)
	Operating Altitude	2000 meters above mean sea level
	Storage Altitude	12,000 meters above mean sea level
	IP Rating	IP 54 per IEC 60529
	Drop Test	3 meters
	Vibration and Shock	IEC 68-2-6 2.5 g, 10 to 200 Hz, IEC 68-2-27, 50 g, 11 ms
	EMC	EN 61326-1:2006 EN 61326-2:2006

Standards and Agency Approval	<div> Compliance EN/IEC 61010-1: 2001 </div> <div> Laser Safety FDA and EN 60825-1 Class II </div>
--	--

BIOGRAFI PENULIS



Novia Andriani, Penulis biasa dipanggil dengan sapaan Novi dilahirkan di Jombang pada tanggal 5 Juni 1995 anak pertama dari dua bersaudara dari orang tua Wiyono dan Umi Hasanah. Penulis memulai pendidikan dari TK Muslimat pada tahun 1999-2001, kemudian melanjutkan Pendidikan di SDN Tinggar pada tahun 2001-2007, selanjutnya menempuh Pendidikan di SMPN 1 Perak pada tahun 2007-2010, setelah itu melanjutkan di SMAN 2 Jombang pada tahun 2010-2013, lalu melanjutkan di D3 Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya pada tahun 2013-2016, selanjutnya menempuh Pendidikan di S1 Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Penulis mengambil bidang stud Teknik Sistem Tenaga sebagai fokus studinya. Penulis dapat dihubungi melalui email : andrianinovia9556@gmail.com

-----Halaman ini sengaja dikosongkan-----